



Metode for konsekvensberegninger for store havarier. Udslip fra Forsmark 3 forårsaget af totalt elbortfald og tidlig sprængpladeåbning

Nielsen, Flemming K.

Publication date:
1988

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Nielsen, F. K. (1988). *Metode for konsekvensberegninger for store havarier. Udslip fra Forsmark 3 forårsaget af totalt elbortfald og tidlig sprængpladeåbning*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2721

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Metode for konsekvensberegninger for store havarier

**Udslip fra Forsmark 3 forårsaget af totalt elbortfald
og tidlig sprængpladeåbning**

Flemming Nielsen

Risø-M-2721

METODE FOR KONSEKVENSBEREKNINGER FOR STORE HAVARIER

Udslip fra Forsmark 3 forårsaget af totalt elbortfald og tidlig sprængpladeåbning.

Flemming Nielsen

Resumé. Denne rapport er udarbejdet som kontraktrapport for Vattenfall.

Rapporten indeholder en beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af et kernenedsmeltningsuheld på Forsmark reaktor nr. 3. Ved beregningerne er antaget udslip forårsaget af totalt elbortfald, og at sprængpladeåbningen konservativt antages at ske samtidigt med tankgennemsmeltningen. Beregningerne er foretaget med Risøs sprednings- og dosisberegning - sprogram PLUCON4.

For at finde repræsentative vejr situationer er 2 års meteorologidata fra Forsmarkmasten analyseret. Som typisk vejr situation er valgt Pasquill D med en vindhastighed på 5 m/s og som ekstrem vejr situation er valgt Pasquill F med en vindhastighed på 2 m/s.

Juli 1988

Forskningscenter Risø, DK-4000 Roskilde, Danmark.

ISBN 87-550-1435-6

ISSN 0418-6435

Grafisk Service, Risø 1988

INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
1. INDLEDNING	5
2. METEOROLOGI	6
2.1. Indledning	6
2.2. Datamaterialet	6
2.3. Statistik over meteorologiske parametre	6
2.4. Deponeringsparametre	18
2.5. Blandingslagets højde	19
3. ØVRIGE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER	20
3.1. Bygningsafskærmning og filtrering	20
3.2. Vejreffekt	22
3.3. Beregning af organdoser	22
3.4. Den effektive udbredelseshøjde	26
4. UDSLIPSSTØRRELSE OG TIDSFORLØB	27
5. KONSEKVENSER EFTER UDSLIPPET FRA FORSMARK 3	32
5.1. Individdoser	32
5.2. Kollektivdoser	41
6. REFERENCER	44
Bilag A: Meteorologistatistik	46
Bilag B: Dosisomregningsfaktorer	50
Bilag C: Beregningsresultater	53

1. INDLEDNING

Denne rapport indeholder en beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af et kernenedsmeltningsuheld på Forsmark reaktor nr. 3. Beregningen er foretaget med Risøs sprednings- og dosisprogram PLUCON4 (Thykier-Nielsen 1980).

I kapitel 2 er meteorologidata fra Forsmarknasten fra perioden 23/4-1976 til 26/2-1978 opdelt efter vindretning, vindhastighed og stabilitet. Herefter følger en beregning af kumulativ frekvens udført med CRAC2. Som approksimation til 50% fraktilen bruges Pasquill D med en vindhastighed på 5 m/s, og som approksimation til 5% fraktilen bruges Pasquill F med en vindhastighed på 2 m/s. Endvidere er beskrevet hvilke deponeringsparametre og blandingslag, der er valgt.

I kapitel 3 er redegjort for de øvrige beregningsforudsætninger. Dvs., bygningsafskærmning, vejreftekt, dosisomregningsfaktorer og effektiv udbredelseshøjde.

I kapitel 4 er aktivitetsindholdet, udslipsmængderne, tidsforløbet af udslippet, udslippets varmeindhold og udslipshøjden gennemgået.

I kapitel 5 er beregningsresultaterne beskrevet. Der er regnet individdoser med indendørs ophold i 36 timer, og ved normal færden i et år efter udslippet. Der er desuden regnet kollektivdoser i et antal udslipsretninger fra Forsmark efter 1 år startende med 36 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 døgns normalt ophold på stedet.

2. METEOROLOGI

2.1. Indledning

Med henblik på beregning af konsekvenserne af uheldsmæssige radioaktivitetsudslip fra kernekraftværket Forsmark er udført en undersøgelse af de meteorologiske forhold på denne plads.

Undersøgelsen har været begrænset til at omfatte data fra perioden 23/4-1976 til 26/2-1978 målt ved anlæggets meteorologimast.

2.2. Datamaterialet

Fra meteorologimasten på Forsmark foreligger timeværdier for perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. De data, der er målt for hver time, er:

Vindretning i højderne 12 m, 24 m og 96 m.

Vindhastighed i højderne 12 m, 24, 48 og 96 m.

Temperaturen i højderne 2, 12, 24, 48 og 96 m.

2.3. Statistik over meteorologiske parametre

2.3.1. Bestemmelse af stabilitet

Stabilitetsforholdene er beregnet ud fra temperaturgradienten.

Beregningen af temperaturgradienten kan foretages på følgende måder:

- 1) En simpel lineær temperaturgradient, hvor der kun tages hensyn til temperaturen i endepunkterne.
- 2) En lineær regression, hvor der ved beregningen af temperaturgradienten tages hensyn til temperaturen i endepunkterne og alle mellemliggende temperaturmålinger.

- 3) En potensfunktion af formen $T(h)=a \cdot h^b$, hvor konstanterne a og b findes ud fra temperaturerne i endepunkterne.
- 4) Samme potensfunktion som i 3), men konstanterne a og b findes nu som bedste fit til kurven, idet der tages hensyn til temperaturen i endepunkterne og alle mellemliggende temperaturmålinger.

Da der ikke er den store forskel på de 4 metoder, har vi aftalt med Vattenfall at bruge metode 1).

Stabiliteten kan derefter findes ud fra tabel 2.1., som stammer fra USAEC, 1972.

Beskrivelse	Kategori	$T(100 \text{ m}) - T(0 \text{ m})$
meget ustabil	A	mindre end -1,9
ustabil	B	fra -1,9 til -1,7
let ustabil	C	fra -1,7 til -1,5
neutral	D	fra -1,5 til -0,5
let stabil	E	fra -0,5 til 1,5
meget stabil	F + G	større end 1,5

Tabel 2.1. Bestemmelse af stabilitetsklasser fra den vertikale temperaturgradient. (USAEC, 1972)

På fig. 2.1. er vist stabilitetens fordeling beregnet ud fra temperaturgradienten fra 2 til 96 m.

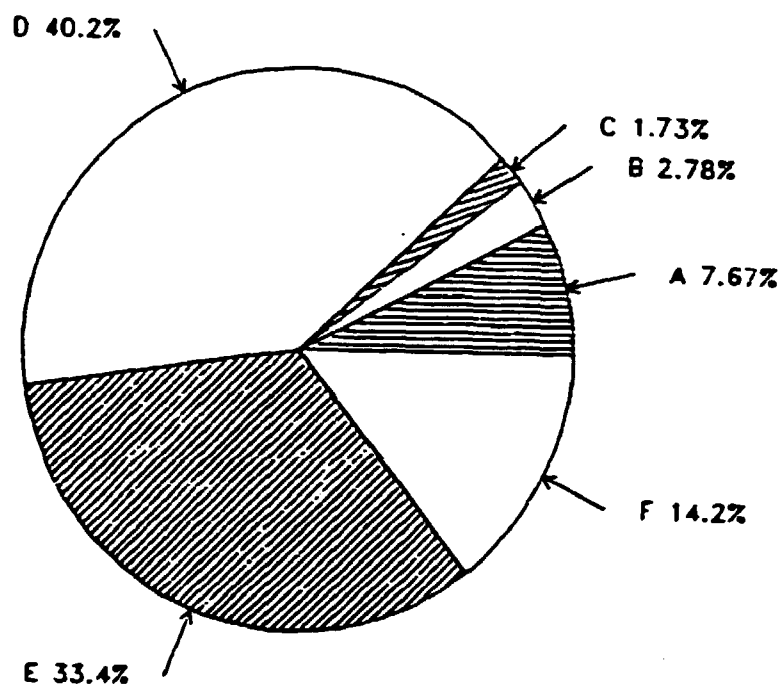


Fig. 2.1. Fordeling af atmosfærisk stabilitet for Forsmark i perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Temperaturgradient fra 2 til 96 m.

Svagheden ved denne metode er, at ikke alle relevante stabilitetsparametre indgår i klassifikationen. For et marint tempereret klima vil det typisk gælde at en statistik på grundlag af temperaturgradienten "hælder" for meget til den stabile side. Dvs., at der er for stor andel af stabile, specielt let stabile, situationer og for få ustabile og neutrale situationer. I betragtning af, at det væsentligste formål med nærværende undersøgelse er at give en oversigt over de mulige udslipssituationer for Forsmarkværket, skønnes usikkerheden ved den betragtede metode at være acceptabel.

2.3.2. Udslipsretning

På fig. 2.2. er fordelingen af udslipsretning vist. Det ses, at udbredelsesretningen 180° (165° - 195°) er den mest sandsynlige med 14,3% af tiden.

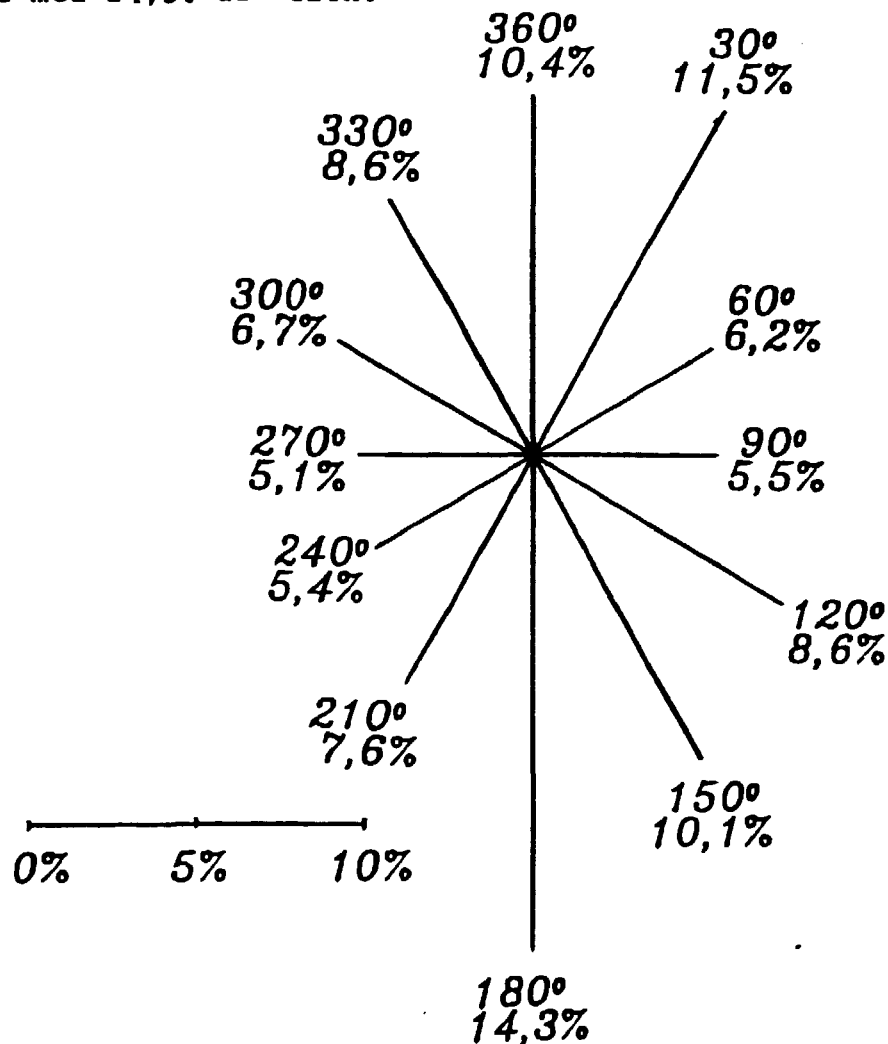


Fig. 2.2. Fordeling af udslipsretning for Forsmark i perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Der benyttes vindretning for højden 96 m.

I bilag A på tabel A1 er vist fordelingen af stabiliteterne i de enkelte udbredelsesretninger. Det ses, at kombinationen af stabilitet D og udslipsretning 180° (165° - 195°) er den mest sandsynlige med 5,8% af tiden.

2.3.3. Vindhastighed og udslipsretning

I bilag A på tabel A2 er vist vindhastighedens fordeling i de enkelte udslipsretninger. Det ses, at kombinationen af vindhastighed under 1 m/s og udslipsretning 180° (165°-195°) er den mest sandsynlige med 6,5% af tiden. I øvrigt ses af tabellen, at denne vindretning giver vindhastigheder signifikant lavere end ved andre retninger. Forklaringen er sandsynligvis, at nordenvind på det betragtede sted ofte er ledsaget af køligt vejr med stabil atmosfære.

I bilag A på tabel A3 ses fordelingen af stabilitet i de enkelte vindhastighedsintervaller for alle vindretninger under ét. Det ses, at kombinationen af stabilitet E og vindhastighed imellem 6 og 10 m/s er den mest sandsynlige med 15,2% af tiden. At totalerne nederst ses, at middelvindhastigheden er ca. 4,4 m/s ved stabilitet A, B og C, ca. 6 m/s ved stabilitet D og E og 4,7 m/s ved stabilitet F.

2.3.4. Regn

Det tilsendte datamateriale indeholder ingen oplysninger om regntrekvenser og regnintensiteter. For at muliggøre en traktilberegning med CRAC 2 (Ritchie, 1984) er det nødvendigt at kende regntrekvensen. Det antages derfor, at fordelingen af regn mellem stabiliteter ved Forsmark er den samme som ved Risø. For Risø antages følgende (Thykier-Nielsen, 1982):

	A	B	C	D	E	F	Total
Regn	0,5%	1,5%	2,5%	9,5%	4,5%	2,5%	7,2%
Tørt	99,5%	98,5%	97,5%	90,5%	95,5%	97,5%	92,8%

Regnhypigheden ved Risø er højere end ved Forsmark. I mangel af opgivelser fra Forsmark bruges middelværdien fra Bulltofta, Torslanda og Kalmar: 3,42 %. (Her burde kun været taget hensyn til Bulltofta og Kalmar, der er østkyst placeringer. Herved falder regnhypigheden til 3,39%). Når der tages hensyn til stabilitetsfordelingen ved Forsmark kan regnfrekvensen herefter beregnes:

Stabilitet A	:	7,67 %	x	0,5 %	x	3,42 %/7,2 %	=	0,0182 %
Stabilitet B	:	2,78 %	x	1,5 %	x	3,42 %/7,2 %	=	0,0198 %
Stabilitet C	:	1,73 %	x	2,5 %	x	3,42 %/7,2 %	=	0,0205 %
Stabilitet D	:	40,2 %	x	9,5 %	x	3,42 %/7,2 %	=	1,8140 %
Stabilitet E	:	33,44 %	x	4,5 %	x	3,42 %/7,2 %	=	0,7148 %
Stabilitet F	:	14,18 %	x	2,5 %	x	3,42 %/7,2 %	=	0,1684 %
Sum								2,7557 %

Disse procenttal skal afrundes til et helt antal regnvejrssituationer. Ved denne afrunding er der sket en mindre afrundingfejl således, at der ialt regnes med regnvejr i 2,67 % af perioden og tørvejr i de resterende 97,33 % af perioden. Regnen er opdelt på udslipsretninger som vist i bilag A på tabel A4. (Ovenstående opgørelse medfører en undervurdering af regnfrekvensen på Forsmarkkraftstationen. Frekvensen bruges kun i CRAC2 fraktilberegningen).

2.3.5. CRAC2-beregninger

CRAC2 kræver time-data for et helt kalenderår startende den 1/1 kl. 00:00 og sluttende den 31/12 kl. 23:00. Det naturlige valg i den her betragtede situation er året 1977. På fig. 2.3. er vist stabilitetens fordeling beregnet ud fra temperaturgradienten fra 2 til 96 m for året 1977. Året 1977 afviger, som det ses af tabel 2.2. ikke significant fra perioden 23/4 - 1976 til 26/2 - 1978, hvad fordelingen af stabiliteter angår.

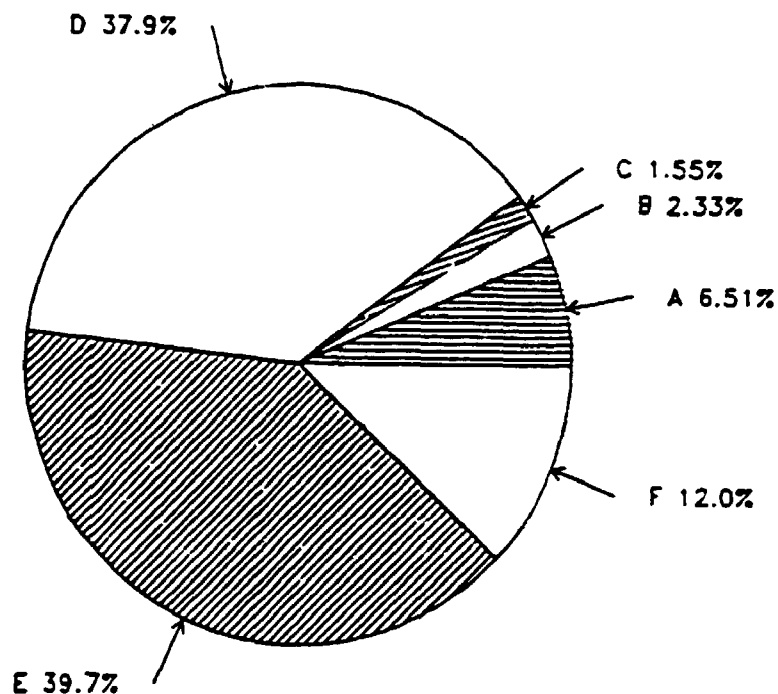


Fig. 2.3. Fordeling af atmosfærisk stabilitet for Forsmark i 1977. Temperaturgradient fra 2 til 96 m.

Stabilitet	Fordeling i perioden 23/4-1976 til 26/2-1978 (Fig. 2.1.)	Fordeling i 1977 (Fig 2.3.)	Afvigelse
A	7,67 %	6,51 %	- 1,16 %
B	2,78 %	2,33 %	- 0,45 %
C	1,73 %	1,55 %	- 0,18 %
D	40,2 %	37,9 %	- 2,3 %
E	33,4 %	39,7 %	6,3 %
F	14,2 %	12,0 %	- 2,2 %

Tabel 2.2. For at muliggøre en CRAC2 beregning er det nødvendigt at begrænse meteorologidata til et helt kalenderår. Som det ses i tabellen medfører dette kun en begrænset afvigelse i stabilitetsfordelingen.

Metoden i CRAC2 er nu at beregne doser under en række vejr-situationer (tidsserier af stabilitet, vindhastighed, -retning og nedbørsmængde), der er typiske for det betragtede år. Ideelt bør man "starte" hver eneste time året rundt og beregne fraktilerne på dette grundlag.

Det kan imidlertid vises, at det er tilstrækkeligt at beregne nogle få tilfælde indenfor hver af de meteorologiske situationer. Metoden er, at man opdeler de mulige kombinationer af meteorologiske parametre i et antal karakteristiske vejr-situationer således som vist i tabel 2.3. Ved at sørge for at beregningerne fordeler sig på alle disse situationer i overensstemmelse med den hyppighed, hvormed de forekommer, er man sikker på at få alle ekstreme situationer med, samtidig med at man får en god approksimation til sandsynlighedsfordelingen af doser i givne afstande. Erfaringen (Ritchie, 1984 og WASH-1400) viser, at 4 beregninger indenfor hver situation er tilstrækkeligt. Man kan da nøjes med 116 beregninger for ét år mod 8760, hvis alle situationer skulle gennemregnes.

Fordelingen af 1977 statistikken for Forsmark på meteorologiske situationer er vist på fig. 2.4.

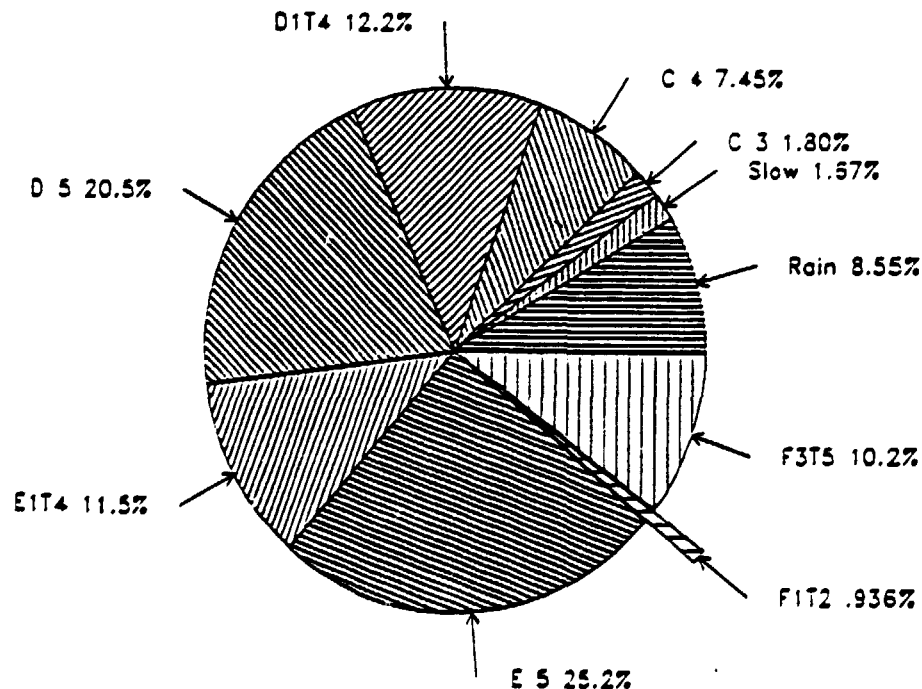


Fig. 2.4. Fordeling af 1977 statistikken for Forsmark på meteorologiske situationer til brug for CRAC2. For at lette overblikket er de 29 vejr-situationer slået sammen til 10 på figuren. F.eks. omfatter E1T4 situationerne 20-23.

Vejrsituationer med regn							Øvrige vejsituationer				
1: Det regner, når udslippet starter							13: Stabilitet A, B og C med vindhastighed under 3 m/s				
2: Udslippet møder regn 0-8 km fra værket							14: - A, B og C - - over 3 m/s				
3: - - - 8-16 - - -							15: - D - - under 1 m/s				
4: - - - 16-24 - - -							16: - D - - fra 1 til 2 m/s				
5: - - - 24-32 - - -							17: - D - - fra 2 til 3 m/s				
6: - - - 32-40 - - -							18: - D - - fra 3 til 5 m/s				
7: - - - 40-48 - - -							19: - D - - over 5 m/s				
Vejrsituationer uden regn, hvor vindhastigheden falder fra mere end 3 m/s til mindre end 2 m/s							20: - E - - under 1 m/s				
8: Vindhastigheden falder 0-16 km fra værket							21: - E - - fra 1 til 2 m/s				
9: - - - 16-24 - - -							22: - E - - fra 2 til 3 m/s				
10: - - - 24-32 - - -							23: - E - - fra 3 til 5 m/s				
11: - - - 32-40 - - -							24: - E - - over 5 m/s				
12: - - - 40-48 - - -							25: - F - - under 1 m/s				
							26: - F - - fra 1 til 2 m/s				
							27: - F - - fra 2 til 3 m/s				
							28: - F - - fra 3 til 5 m/s				
							29: - F - - over 5 m/s				

Tabel 2.3. De forekommende vejsituationer opdeles i disse 29 vejsituationer. I hver situation udvælges 4 tilfælde, hvor der beregnes doser med CRAC2. ud fra vejsituationernes hyppighed kan fraktilerne herefter beregnes.

Det virker umiddelbart overraskende, at det regner i 8,55 % af vejr-situationerne, når det kun antages at regne i 2,67 % af tiden. Antallet af regnvejrssituationer er altså ca. 3,2 gange så højt, som antallet af timer hvori det regner. Dette kan kun skyldes en lav vindhastighed i timerne umiddelbart før regnen begynder. Idet de foregående timer bliver en "regnvejrssituation", når regnen starter mindre end 48 km fra værket. Dette er illustreret med eksemplet i tabel 2.4.

Udslip starter		Vindhastighed m/s	Vejrsituation
kl. x-3	ingen regn	4,2	7
kl. x-2	ingen regn	4,2	5
kl. x-1	ingen regn	4,2	3
kl. x	regn	4,2	1

Tabel 2.4. Eksempel, der viser hvordan de 3 foregående udslipstidspunkter bliver til "regnvejrssituationer", når det regner kl. x.

En øvre grænse for den gennemsnitlige vindhastighed før regn bliver: $48 \text{ km} / 2,2 \text{ timer} = 6,1 \text{ m/s}$. Dette gælder kun, hvis regntimerne er spredt helt jævnt over året. Da der også vil være en del situationer med regnperioder på mere end en times varighed, bliver den gennemsnitlige vindhastighed før regn mindre end 6,1 m/s.

For at udføre en fraktilberegning er det nødvendigt at antage et udslip. Her er brugt 2. periode af TC-SV-uheldet på Ringhals 1. Dvs. et 2 timers udslip med 50% af ædelgasserne, 0,5 % af jod og Cs, 1,7% af Te og Sb, 1,2% af Sr og 0,5% af Ru, Rh og Tc fra en reaktor, der er 25% mindre end Forsmark 3. Dette udslip begynder ved starten af hver af de 116 udvalgte vejr-situationer. Beregningen er udført for akutte knoglemarvsdoser.

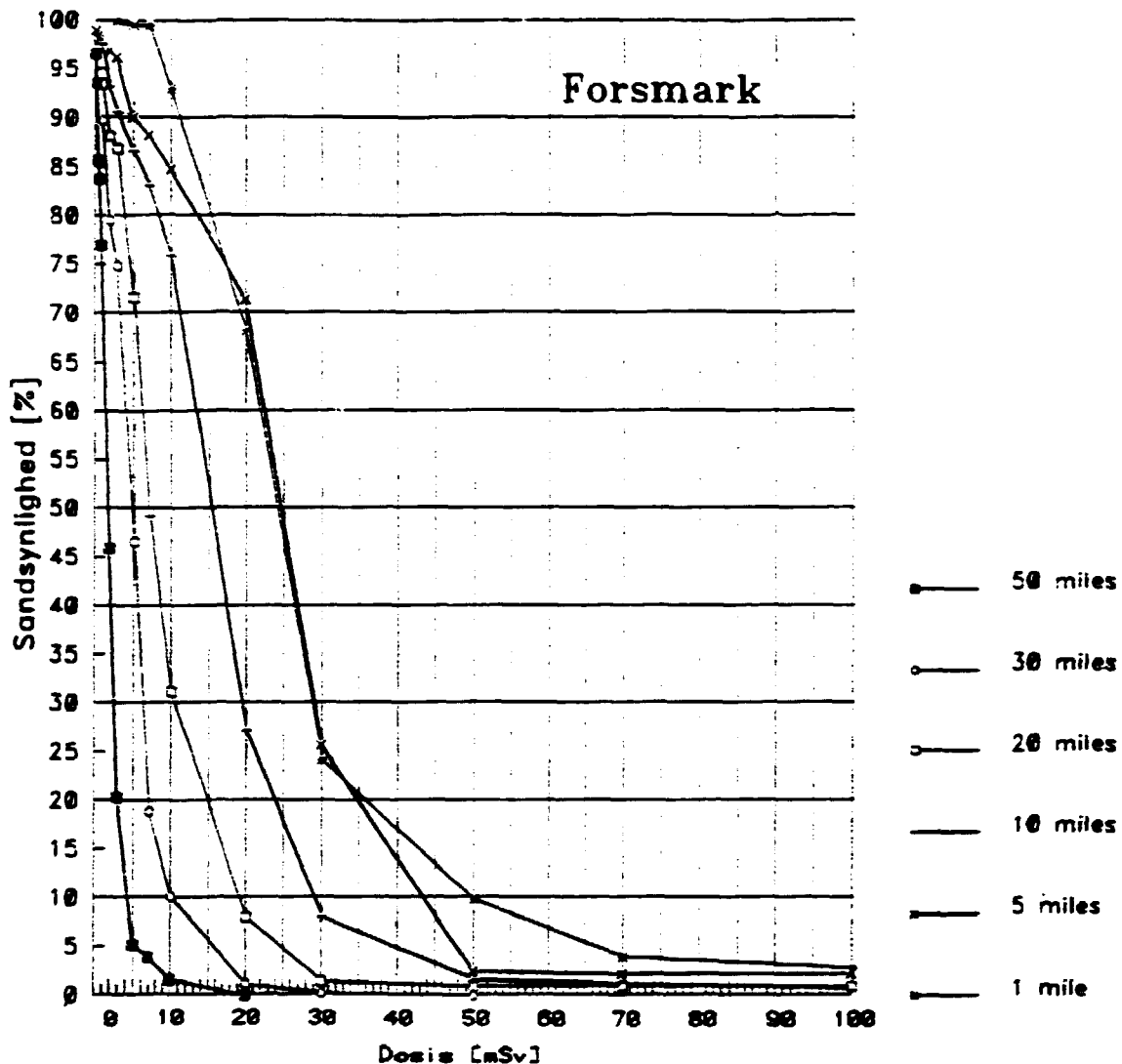


Fig. 2.5. Sandsynligheden for akutte knoglemarvsdoser større end eller lig de viste doser i seks forskellige afstande fra værket (1 mile = 1,6093 km)

Det der har interesse ved fraktilberegningen er sandsynligheder, afstande og vejsituationer. De beregnede doser er kun et hjælpemiddel til at finde de vejsituationer, der svarer til bestemte fraktiler i bestemte afstande. Dvs., det har ikke den store betydning, om udslippet er lidt større eller mindre, eller om der regnes på et andet organ end knoglemarven.

Resultatet af beregningerne bliver de på fig. 2.5. viste kurver. Kurverne viser, sandsynligheden for at dosis er større end eller lig en bestemt værdi i seks forskellige afstande fra værket. Af figuren ses f.eks., at der i afstanden 1 mile er 50 % sandsynlighed for doser større end eller lig 24 mSv og 5 % sandsynlighed for doser større end eller lig 66 mSv.

På fig. 2.6. er vist 5 % og 50 % fraktilerne som funktion af afstanden. 50 % fraktilen vokser op til et maksimum 3 miles fra værket på ca. 26 mSv og talder derefter til ca. 2 mSv 50 miles fra værket. 5 % fraktilen giver doser, der er ca. 3 gange så høje som 50 % fraktilen.

På fig. 2.6. er tillige vist doserne i to vejr-situationer. Pasquill D med en vindhastighed på 5 m/s, som giver en god approk-simation af 50 % fraktilen på alle afstande fra 5 til 50 miles.

Pasquill F med en vindhastighed på 2 m/s svarer til 5% frak-tilen fra 20 til 50 miles fra værket.

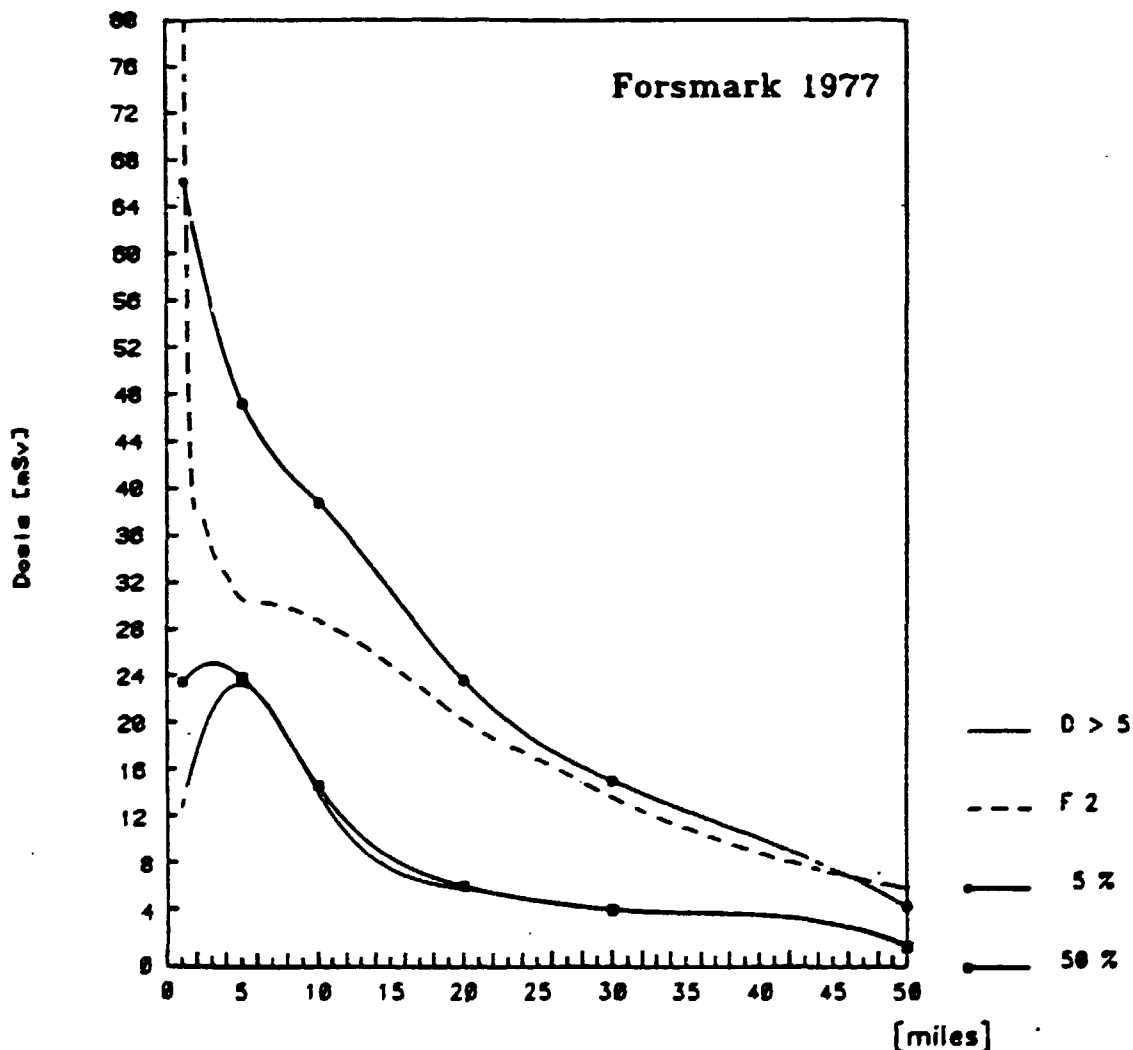


Fig. 2.6. 5 % og 50 % fraktilerne som funktion af afstanden fra værket. Desuden vejr-situationerne Pasquill D med vindhastigheden 5 m/s og Pasquill F med vindhastigheden 2 m/s.

2.4. Deponeringsparametre

Materialer i atmosfæren, partikulære eller luftformige, kan afsættes på overfladen ved forskellige processer. Hele dette kompleks af processer kaldes bekvemt for deponering. Deponering afhænger af tre typer parametre. For det første parametre, der beskriver det materiale, der afsættes. For det andet meteorologiske parametre beskrivende temperatur, vindhastighed, fugtighedsprocent m.m. For det tredje parametre, der beskriver overfladen, t.eks. ruhedslængder, vegetationstype og -densitet m.m.

Når man skal diskutere deponeringsparametre, er det hensigtsmæssigt at opdele deponeringsprocesserne i forskellige grupper efter

- materialetyper (luftarter, partikler)
- meteorologiske forhold (tør- og våddeponering)
- overfladetyper (ru og glatte overflader).

Alle overflader betragtes som ru overflader (bevoksede overflader, græsmarker, kornmarker etc.), idet der her fås de største deponeringsparametre.

For tørdeponering i forbindelse med et hypotetisk reaktoruheld er det især nødvendigt at beskæftige sig med uorganisk jod og methyljodid. På baggrund af mange eksperimentelle bestemmelser af tørdeponeringsparametre for uorganisk jod kan det konkluderes, at en typisk værdi kan sættes til 0,7 cm/s, og at det vil være meget usandsynligt, at værdien vil overstige 1 cm/s. For methyljodid er værdien ca. 100 gange mindre end for uorganisk jod (Heinemann 1980 og Sehmel 1980).

Ovenstående tørdeponeringsparameter på 1 cm/s kan kun bruges ved stabilitet A, B, C og D for vindhastigheder større end 3 m/s. Ved mindre vindhastigheder og ved stabilitet E og

F overstiger denne deponeringsparameter det maksimalt mulige (Thykier-Nielsen, 1982). Tørdeponeringsparametre for det øvrige udslip fås fra Roed 1981. De ved beregningerne brugte tørdeponeringsparametre ses på tabel 2.5.

Stabilitet	Vindhastighed	Tørdeponeringsparameter		
		Methyljodid	Uorganisk jod	Øvrigt udslip
D	5 m/s	0,01 cm/s	1 cm/s	0,2 cm/s
F	2 m/s	0,002 cm/s	0,2 cm/s	0,2 cm/s

Tabel 2.5. De valgte tørdeponeringsparametre som funktion af Pasquill stabilitet og vindhastighed. (Øvrigt udslip omfatter ikke ædelgasser, der ikke deponeres).

Ved udslippet kommer kun en del af den deponerede jod fra jod udslippet, medens resten dannes ved henfald af Tellur. Dvs. den totale tørdeponeringsparameter for uorganisk jod ved stabilitet D bliver mindre end 1 cm/s.

I regnvejrssituationen med intensiteten på 20 mm/time er våddeponeringsparameteren l_g sat til $3 \cdot 10^{-6}/s$ for methyljodid og $3 \cdot 10^{-4}/s$ for det øvrige udslip (Engelmann, 1968).

2.5. Blandingslagets højde

For stabilitet D er antaget et blandingslag i højden 500 m og for stabilitet F i højden 200 m (Thykier-Nielsen, 1980). Dette blandingslag kan ikke gennemtrænges af udslippet, hvis udbredelse dermed begrænses til området mellem blandingslaget og jordoverfladen.

3. ØVRIGE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER

3.1. Bygningsafskærmning og filtrering

Afskærningsfaktorer under skypassage (indendørs)

I beregninger af dosis fra deponeret aktivitet på overflader anvendes dosis i én meters afstand over en plan flade af uendelig udstrækning og med jævnt fordelt overfladeaktivitet som referencedosis. Den reelle dosis vil altid være mindre end referencedosis på grund af forskellige reduktionsfaktorer, såsom afskærmning fra omkringsliggende bygninger og de bygninger eller transportmidler, man opholder sig i.

Den afskærmende virkning af en bygning kan udtrykkes ved en afskærningsfaktor, som er forholdet mellem dosis, der modtages henholdsvis inde i og udenfor bygningen.

For indendørs ophold fås følgende afskærningsfaktorer fordelt på hustyper ved Forsmark:

	Indendørs	
	Skypassage	Deposition
5% d) flerfamiliehuse	0,3b)	0,03a)
15% d) parcelhuse, mursten	0,6c)	0,1a)
80% d)træhuse	0,9b)	0,3b)
Gennemsnitlige afskærningsfaktorer	0,825	0,257

Tabel 3.1. Afskærningsfaktorer ved indendørs ophold. Der er brugt følgende referencer a) Hedemann, 1984 tabel 5 og 6 traditionelt, b) Statens Strålskyddsinstitut, 1979, Vol. 5, tabel 4.3, c) WASH-1400 og d) personlig kommunikation med länsstyrelsen i Uppsala 8/7-1986.

Filterfaktor

Huse virker som filter mod den forurenede luft udendørs, idet partikler hænger fast i dør- og vindueskarme i stedet for at trænge med luftskiftet ind i huset. Den herved opnåede reduktion i inhalationsdoserne kaldes filterfaktoren.

Filterfaktoren for indendørs ophold sættes til 0,33, som nævnt i Miljøstyrelsen 1984.

Opholdstider

For at kunne tage hensyn til at personer opholder sig såvel udendørs som indendørs efter skypassage er det nødvendigt at anvende en tidsmidlet afskærmningsfaktor for deponeret aktivitet.

I mangel af svenske tal anvendes amerikanske (Aldrich, 1978), her opgives følgende midlede opholdstider:

Udendørs:	6% af tiden
Transport:	5% af tiden
Bolig, arbejde og skole:	89% af tiden

Ved transport indregnes en faktor 0,5 som følge af transportmidlets egen afskærmende virkning (Lauridsen 1981).

Afskærmningsfaktor efter skypassage (normal færden)

Herefter kan den tidsmidlede afskærmningsfaktor for deponeret aktivitet beregnes:

Udendørs:	$0,06 \cdot 1$	$= 0,06$
Transport:	$0,05 \cdot 0,5$	$= 0,025$
Bolig, arbejde og skole:	$0,89 \cdot 0,257$	$= 0,228$
Ialt		0,313

3.2. Vejreffekt

Aktivitet, der er deponeret udendørs, vil som følge af vejrlig og specielt regn forsvinde hurtigere, end den fysiske halveringstid betinger. Der er tale om en korttidseffekt som følge af nedbør, der falder samtidig med eller i de tørste par dage efter deponeringen, samt om en langtidseffekt.

H.J. Gale angiver en halveringstid på ca. 227 dage for korttidseffekten og ca. 100 år for langtidseffekten (Gale, 1963). Dette gælder kun for cesium, men anvendes for alle deponerede isotoper. Efter 2 måneder vil cesium være den dominerende isotop.

Berefter bliver reduktionsfaktoren, hvor t angives i år:

$$0,63 \cdot \exp(-1,13t) + 0,37 \cdot \exp(-0,0075t),$$

3.3. Beregning af organdoser

Dosis til de enkelte organer beregnes som summen af de 3 dosiskomponenter gammadosis fra skypassage og deponeret aktivitet og indåndingsdosen.

3.3.1. Knoglemarv

Det antages almindeligvis (WASH-1400), at skade på knoglemarven er den vigtigste årsag til tidlig død på grund af store strålingsdoser til hele kroppen. Det vil sige, at strålingsskade af lunger og mave-tarmkanal sandsynligvis ikke vil være dødbringende, medmindre knoglemarven også beskadiges. For knoglemarvsdoser er tærskelværdien, hvorunder der ikke kan ske tidlige dødsfald ved minimal behandling 1 Sv. Den akutte knoglemarvsdosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og indåndingsdosen integreret til den 30. dag. Størstedelen af dosis til knoglemarven modtages indenfor den første måned.

3.3.2. Lunger

Radioaktive stoffer, som tilhører aktiniderne (som inkorporeres i lymfeknuderne), lanthangruppen og i mindre grad rutheniumgruppen giver det største bidrag til lungedosis. Mellem 50% og 80% af den inhalerede dosis vil være absorberet indenfor et år. Dosis til lungerne beregnes derfor som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden og den interne dosis til lungerne fra inhalation integreret over et år.

For lungedoser er der i WASH-1400 (fig. VI 9-3) vist sammenhængen mellem sandsynligheden for dødsfald indenfor et år og den modtagne lungedosis. En lungedosis på 50 Sv giver en dødsrisiko på 2%, og en lungedosis på 40 Sv giver en dødsrisiko på 1%.

Da risikoen for akut skade afhænger af hastigheden, hvormed lungedosis akkumuleres, vil denne beregningsmetode overvurdere dosis.

3.3.3. Skjoldbruskkirtel

I-131 vil bidrage med ca. 2/3 af dosis til skjoldbruskkirtelen. Da I-131 har en halveringstid på 8 dage, og de andre radioaktive jodisotoper, der kommer i betragtning, har en halveringstid på mindre end en dag, vil størstedelen af inhalationsdosis til skjoldbruskkirtelen være absorberet i løbet af en måned. Ifølge WASH-1400 er tærskelværdien for akutte skader som følge af skjoldbruskkirteldoser 250 Sv.

Dosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og den interne dosis til skjoldbruskkirtelen fra indåndet aktivitet integreret over 1 uge.

Dosis fra inhalation er beregnet for børn, der er den kritiske gruppe, ved at gange dosisfaktorerne for voksne med 2 (Cedervall, 1985).

3.3.4. Hele kroppen

For at opgøre de mulige langtidskonsekvenser af bestråling af hele kroppen beregnes det såkaldte committede effektive dosisækvivalent. Dette beregnes som summen af gammadosis fra sky-passage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation. Det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation (H_{50}) er defineret som:

$$H_{50} \equiv \sum_i W_{T,i} \cdot O_{50,i}$$

hvor

$O_{50,i}$ = 50 års committed dosisækvivalent for organ i .

$W_{T,i}$ = Vægtfaktor for organ i .

Summationen foretages for gonader, bryst, knoglemarv, lunger, skjoldbruskkirtel, skelet og 5 andre organer.

Data for, O_{50} og W_T er taget fra ICRP 1979.

3.3.5. Dosisomregningsfaktorer

I bilag B på tabel B1 er vist de i beregningerne brugte omregningsfaktorer fra inhalation til henholdsvis knoglemarvs-, lunge-, skjoldbruskkirtel- og helkropsdosis.

For de med V mærkede isotoper bruges faktorer fra Vattenfall (Cedervall, 1985) og for de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, tabel D-2.

PLUCON4 indeholder ingen tilsvarende dosisomregningsfaktorer til beregning af gammadoser fra skypassage og deponeret aktivitet. I stedet indeholder programmet en tabel med gammaudbytter opdelt på 8 energigrupper for hver enkelt isotop. Ved hjælp af disse udbyttetal kan gammadoser i luft beregnes. For at få doser i organer er det nødvendigt at tage hensyn til selvafskærmningen i kroppen. Her er brugt de selvafskærningsfaktorer, som er vist i bilag B på tabel B2.

Ved at beregne koncentration af deponeret aktivitet og dosishastigheden for hver enkelt isotop kan selvafskærningsfaktorerne i bilag B på tabel B3 for deponeret aktivitet beregnes.

Gammadosis fra skypassage beregnes ved at integrere dosisbidragene fra hele den radioaktive sky. Dosis afhænger således ikke kun af luftkoncentrationen det pågældende sted. Der eksisterer derfor ikke simple omregningsfaktorer mellem luftkoncentrationen et givet sted og gammadosis fra skypassage.

3.4. Den effektive udbredelseshøjde

Den effektive udbredelseshøjde beregnes som summen af skorstenshøjden og varmeløftet. Der ses bort fra varmeafgivelsen ved radioaktive henfald og fra fortætningsvarmen fra den ledsagende damp.

Da energifrigørelses hastigheden ved det betragtede udslip antages at være 0 MW, bliver den effektive udbredelseshøjde lig med udslipshøjden, dvs. 25 m.

4. UDSLIPSSTØRRELSE OG TIDSFORLØB

Der betragtes et uheld på Forsmark reaktor nr. 3. Uheldet starter med et totalt elbortfald, som fører til nedsmeltning af reaktorkernen. På det tidspunkt hvor reaktortanken gennemsmeltes, antages det konservativt, at sprængpladen til det filtrerende aflastningssystem brister. 8 timer efter den initierende hændelse startes sprinkling af reaktorindeslutningen.

Reaktoreffekten er 100% frem til uheldets start, og herefter resteffekt. Udslippets forløb deles op i to perioder med konstant udslip i perioderne, som vist på tabel 4.1.

	Tid fra nedlukning s
Start 1. periode (1 time og 1400 s)	5000
Varighed 15000 s (4 timer og 600 s)	
Ophør 1. periode (5 timer og 2000 s)	20000
Start 2. periode (8 timer)	28800
Varighed 72700 s (20 timer og 700 s)	
Ophør 2. periode (28 timer og 700 s)	101500

Tabel 4.1. Uheldet opdeles i 2 udslipsperioder.

Udslipsprocenterne er som vist i tabel 4.2. Idet Antimon antages at have samme udslipsprocent som Tellur.

Isotopgruppe	1. periode %	2. periode %	Ialt %
Edelgas og methyliodid	29,8	66,2	95
Jod og Cs	0,02	-	0,02
Te og Sb	0,019	-	0,019

Tabel 4.2. Udslipsprocenter for det betragtede uheld.

Ved hjælp af programmet HMP, der både kan beregne fissionsproduktindhold, som SEGAFIP og transuranindhold, beregnes inventaret i kernen ved start- og sluttidspunktet af de to perioder. Herefter beregnes de to udslip ved hjælp af formlen:

$$p = (M_1 - M_2) / \ln \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

hvor

p er udslipsprocenten

M₁ er aktiviteten ved starten af udslipsperioden

M₂ er aktiviteten ved slutningen af udslipsperioden

Det således beregnede udslip ses i tabel 4.3. På tabellen er desuden vist aktiviteten ved nedlukning og det samlede udslip

i procent af nedlukningsaktiviteten. På grund af henfald før og under udslippet bliver disse udslipsprocenter mindre end procenterne i tabel 4.2. Eneste undtagelse er Xe135, hvor det samlede udslip udgør 111% af aktiviteten på nedlukningstidspunktet, idet inventaret af Xe-135 er stigende de første timer efter nedlukning på grund af henfald af I-135. Bemærk at jodaktiviteten på nedlukningstidspunktet er opdelt i 99,3% uorganisk jod (f.eks. CsI) og 0,7% organisk jod, dvs. methyljodid. Andelen af organisk jod er en konservativ vurdering fra Wash-1400. Ifølge Christensen, 1984 vil den bedste vurdering af methyljodidindholdet i reaktorindeslutningen være 0,2% af den samlede mængde jod.

Ud over de på tabel 4.3 viste isotoper indgår Sr89 i beregningerne, idet der regnes med følgende henfald til radioaktive datterprodukter:

Kr85m	→	Kr85	Tel31	→	I131u
Kr88	→	Rb88	Tel32	→	I132u
Kr89	→	Rb89	I131u	→	Xel31m
Rb89	→	Sr89	I133u	→	Xel33
Sb127	→	Tel27	I135u	→	Xel35
Sb129	→	Tel29m	Xel37	→	Cs137
Tel29m	→	Tel29	Xel38	→	Cs138
Tel31m	→	Tel31			

Alle andre henfald antages at ske til isotoper, der ikke har interesse for dosisberegningerne.

Isotop	Aktivitet ved nedlukning TBq	Udslip i 1. periode TBq	Udslip i 2. periode TBq	Samlet udslip TBq	Samlet udslip i % af nedlukningsaktivitet
Kr 83m	3,80E5	7,14E4	1,19E4	8,33E4	2,19E1
Kr 85m	8,80E5	1,51E5	5,15E4	2,02E5	2,30E1
Kr 85	3,00E4	8,64E3	1,99E4	2,85E4	9,50E1
Kr 87	1,60E6	8,35E4	1,19E3	8,47E4	5,30
Kr 88	2,20E6	2,80E5	3,98E4	3,20E5	1,45E1
Kr 89	2,70E6	1,84E-4	-	1,84E-4	6,83E-9
Rb 88	2,40E6	2,21E2	-	2,21E2	9,21E-3
Rb 89	3,20E6	1,25	-	1,25	3,90E-5
Sb127	2,50E5	4,68E1	-	4,68E1	1,87E-2
Sb129	8,80E5	9,78E1	-	9,78E1	1,11E-2
Te127m	3,10E4	5,89	-	5,89	1,90E-2
Te127	2,50E5	4,74E1	-	4,74E1	1,90E-2
Te129m	1,50E5	2,85E1	-	2,85E1	1,90E-2
Te129	8,20E5	1,14E2	-	1,14E2	1,39E-2
Te131m	4,80E5	8,45E1	-	8,45E1	1,76E-2
Te131	2,40E6	4,63E1	-	4,63E1	1,93E-3
Te132	4,10E6	7,55E2	-	7,55E2	1,84E-2
I 131u	2,78E6	5,51E2	-	5,51E2	1,98E-2
I 131o	1,96E4	5,60E3	1,23E4	1,79E4	9,12E1
I 132u	4,07E6	7,96E2	-	7,96E2	1,96E-2
I 132o	2,87E4	8,08E3	1,64E4	2,44E4	8,51E1
I 133u	5,96E6	1,09E3	-	1,09E3	1,82E-2
I 133o	4,20E4	1,10E4	1,59E4	2,69E4	6,42E1
I 134u	6,65E6	2,38E2	-	2,38E2	3,58E-3
I 134o	4,69E4	2,42E3	1,12E1	2,43E3	5,18
I 135u	5,66E6	7,92E2	-	7,92E2	1,40E-2
I 135o	3,99E4	8,04E3	4,68E3	1,27E4	3,19E1
Xe131m	3,90E4	1,12E4	2,58E4	3,70E4	9,49E1
Xe133m	1,80E5	5,15E4	1,10E5	1,62E5	8,98E1
Xe133	6,00E6	1,73E6	3,86E6	5,59E6	9,31E1
Xe135m	1,10E6	1,73E5	1,00E5	2,73E5	2,48E1
Xe135	1,80E6	7,18E5	1,28E6	2,00E6	1,11E2
Xe137	5,40E6	9,29E-3	-	9,29E-3	1,72E-7
Xe138	5,20E6	2,03E3	3,27E-6	2,03E3	3,90E-2
Cs134	3,70E5	7,40E1	-	7,40E1	2,00E-2
Cs136	8,70E4	1,73E1	-	1,73E1	1,98E-2
Cs137	3,10E5	6,20E1	-	6,20E1	2,00E-2
Cs138	5,60E6	3,42E1	-	3,42E1	6,11E-4

Tabel 4.3. Aktivitet ved nedlukning, udslip i de 2 perioder af uheldet og samlet udslip i procent af nedlukningsaktivitet. Jodisotoperne er opdelt i uorganisk (u) og organisk (o) jod.

På fig. 4.1. er vist tidsforløbet for skypassage som funktion af centerlinieafstanden for vindhastigheden 5 m/s, der bruges ved stabilitet D. Fig. 4.2. viser tilsvarende tidsforløbet for vindhastigheden 2 m/s, der bruges ved stabilitet F.

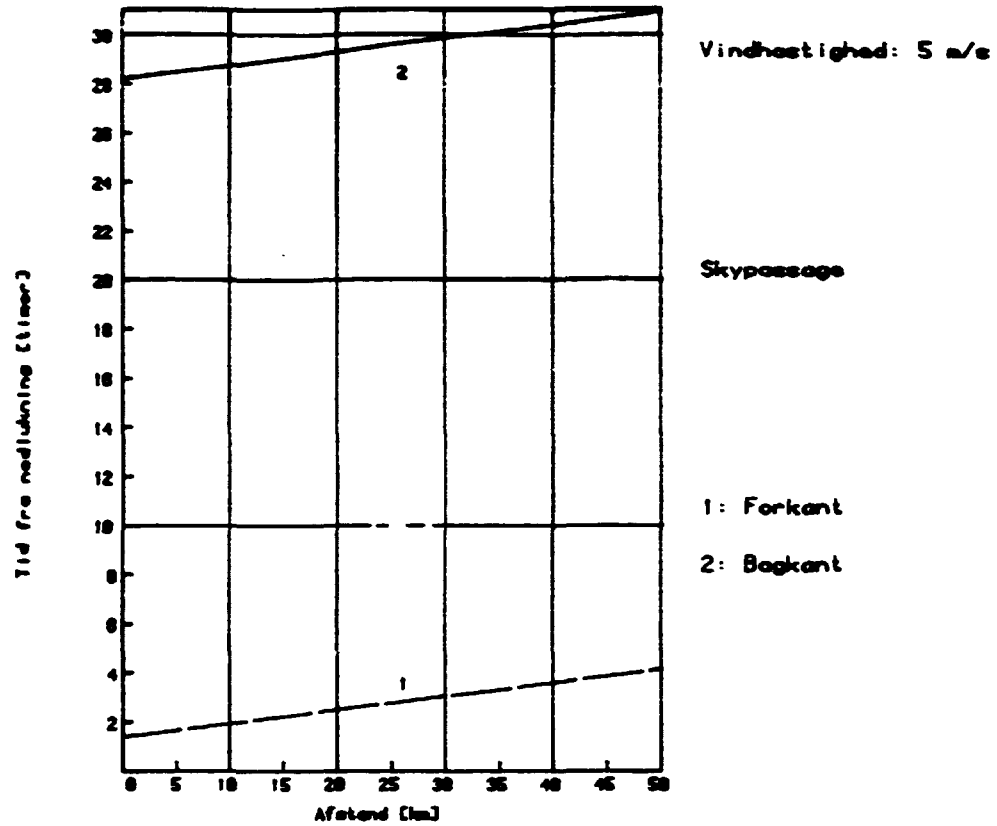


Fig. 4.1. Tidsforløb for skypassage med vindhastighed 5 m/s, som bruges ved stabilitet D.

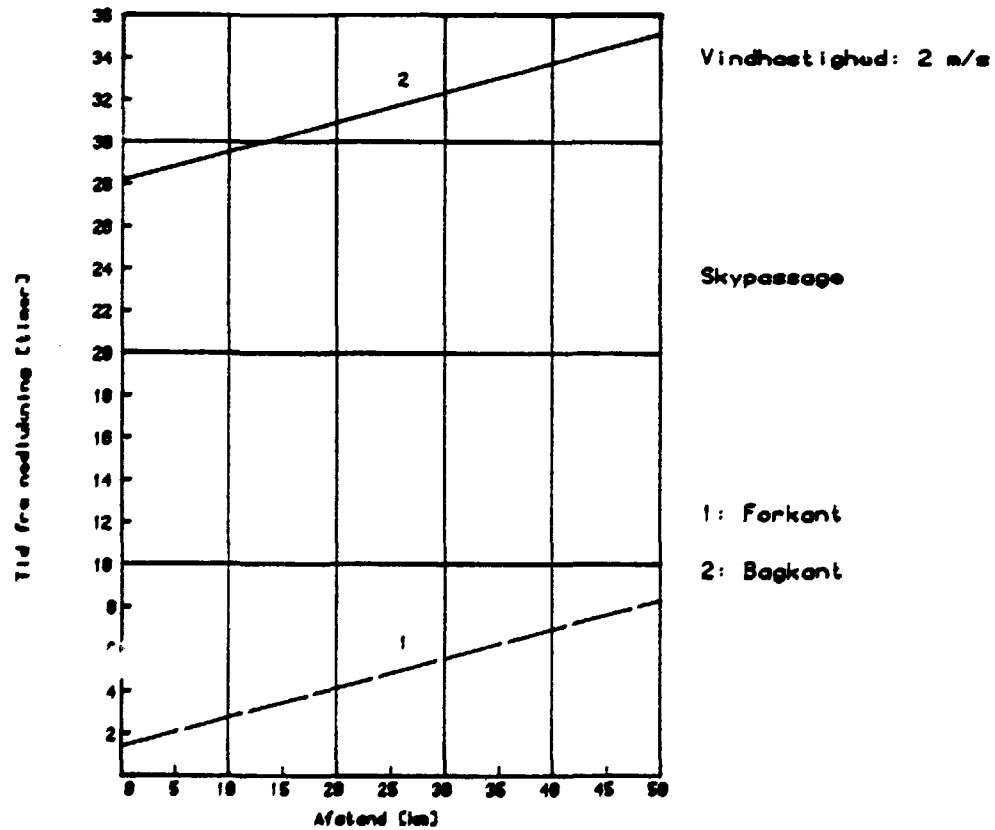


Fig. 4.2. Tidsforløb for skypassage med vindhastighed 2 m/s, som bruges ved stabilitet F.

5. KONSEKVENSER EFTER UDSLIPPET FRA FORSMARK 3

I dette kapitel er redegjort for konsekvenserne i form af individdoser i omgivelserne ud til 50 km afstand såvel som for kollektivdoser ud til 72 km (for at tage befolkningskoncentrationen omkring Uppsala og Gävle med i betragtning).

Det skal bemærkes, som det er diskuteret i Thykier-Nielsen 1980, at modellen beregner doser med rimelig nøjagtighed ud til 20 - 30 km fra kilden, dvs. indenfor en faktor 2 - 3, men at man på længere afstande får en overvurdering af doserne, som på 50 km kan være op til en faktor 10 over den egentlige værdi.

Det skal yderligere bemærkes, at med de forudsatte, lange udslipstider vil beregningen af individdoser være stærkt konservativ, idet det er forudsat, at vindretning og -hastighed samt stabiliteten er konstant. Dette vil særlig være tilfældet for Pasquill F-beregningerne, hvor denne tilstand næppe vil kunne eksistere over så mange timer.

For kollektivdosernes vedkommende skal det bemærkes, at nøjagtigheden også afhænger af det anvendte demografiske materiale. Store befolkningskoncentrationer beliggende på større afstande (Uppsala og Gävle) kan således give urealistisk store bidrag til kollektivdosen, hvis uheldet sker i den pågældende retning.

5.1. Individdoser

5.1.1. Pasquill D, 5 m/s, ingen regn

På figurerne, der viser individdosis under skyens centerlinie, dvs. maksimaldosis i den pågældende afstand, er det valgt at bruge en logaritmisk inddeling af abscissen, der viser afstanden fra udslipspunktet. Herved lægges vægt på at illustrere forholdene nærmest værket, hvor doserne er størst, og som derfor har størst interesse.

På figur 5.1. og 5.2. er vist gammadosis fra skypassagen, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsbidraget til helkropsdosis, samt summen af de tre komponenter. Her og på de følgende figurer regnes med 36 timers indendørs ophold fra nedlukningstidspunktet.

Da varmeindholdet i udslippet antages at være 0 MW, og udslipet sker fra lav højde (25 m), når skyens indhold af radioaktivitet jordoverfladen inden for værkets hegn. Den maksimale dosis i omgivelserne fås derfor ved værkets hegn, der her er sat til en afstand af 500 m.

På figur 5.3. er vist organdoserne til knoglemarv, skjoldbrusk-kirtel, lunger samt helkropsdosis, der er identisk med sumkurven på fig. 5.1. Der skal gøres opmærksom på de forskellige ordinatværdier på de forskellige figurer.

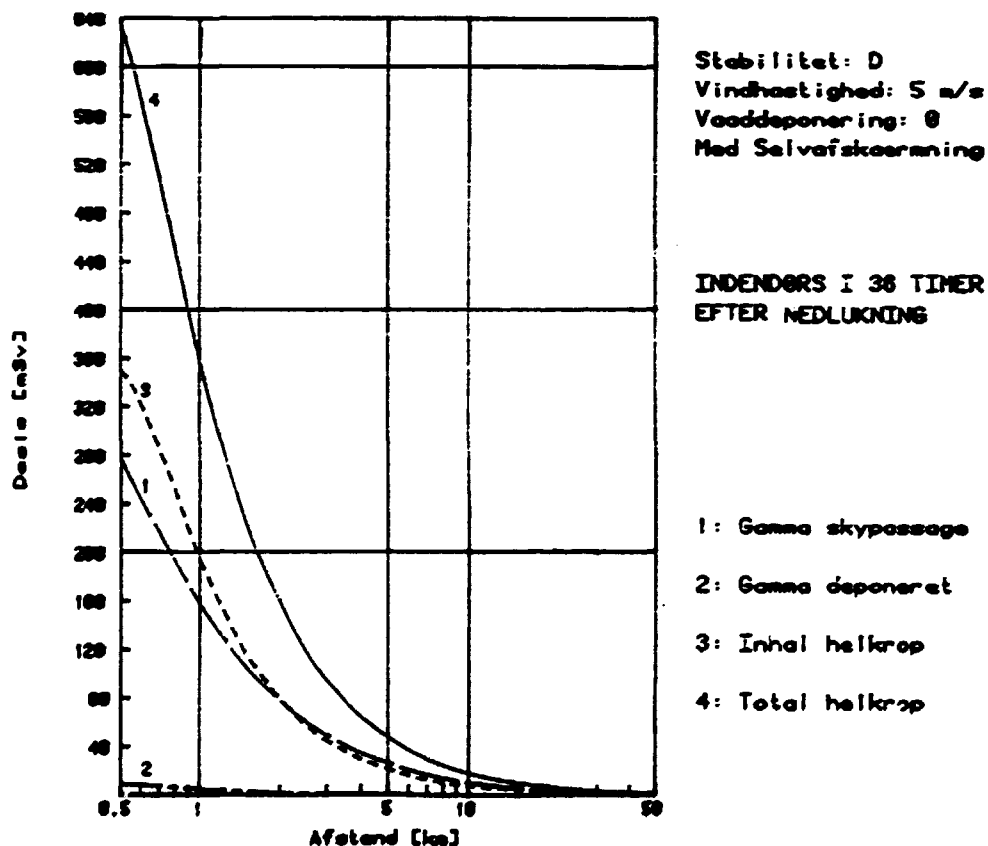


Fig. 5.1. Total helkropsdosis i skyens centerlinie opdelt i dosiskomponenter.

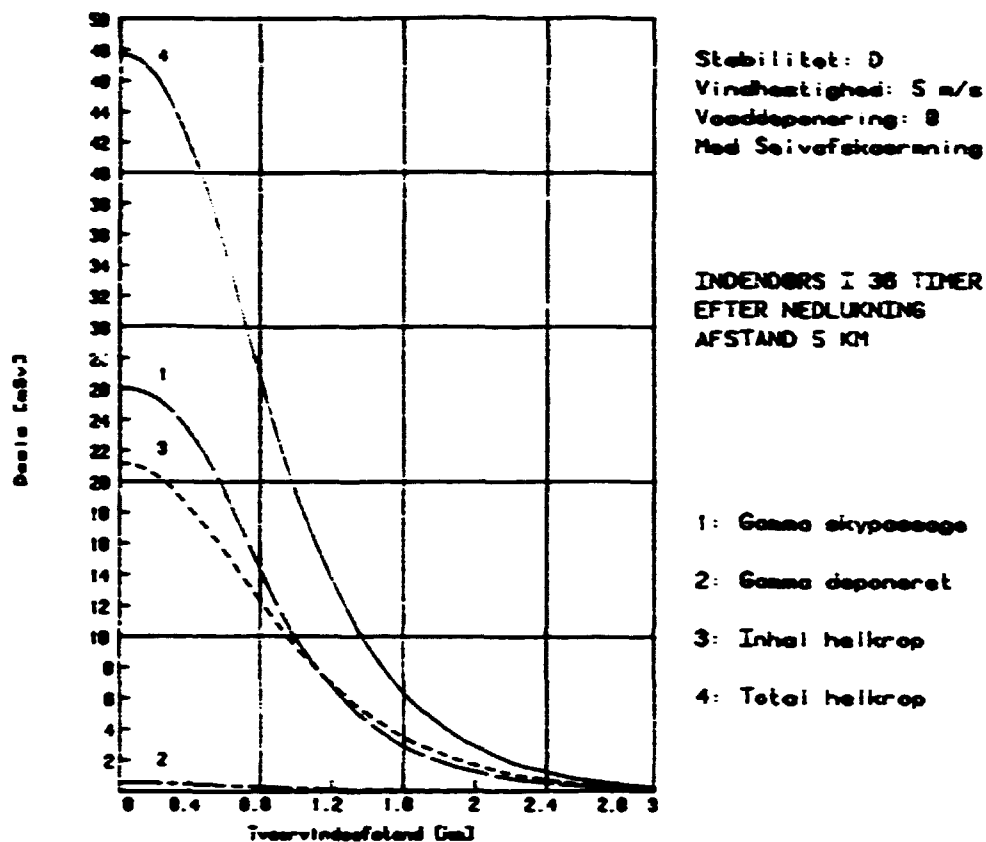


Fig. 5.2. Total helkropsdosis på tværs af centerlinien i afstanden 5 km opdelt i dosiskomponenter.

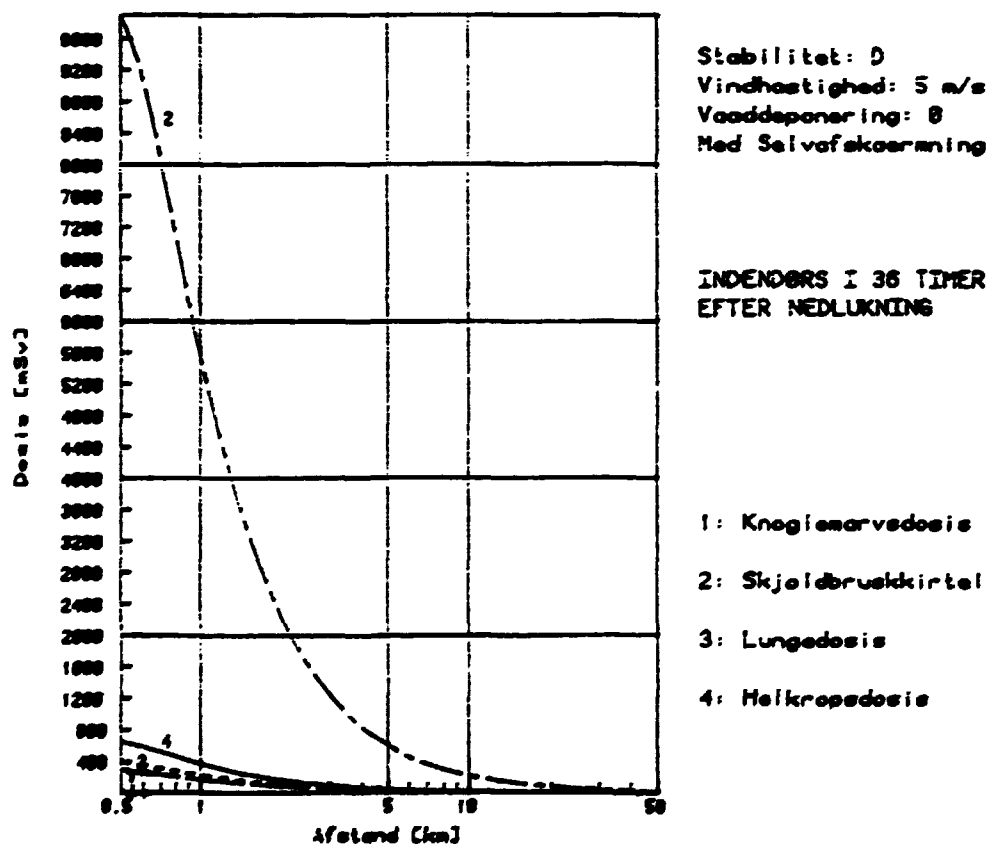


Fig. 5.3. Organdoser ved 36 timers indendørs ophold.

Doser i mSv	Gammadosis fra		Inhala- tion	Total dosis i maksimal- punktet	Tærskel- værdi
	skypas- sage	deponeret aktivitet			
Lunge	267	8	104	379	40000
Knoglemarv	257	8	15	280	1000
Skjoldbruskk.	310	10	9550	9870	250000
Helkrop	277	9	350	636	-

Tabel 5.1. Organdoser 500 m fra værket ved Pasquill D, vindhastighed 5 m/s og ingen regn.

I tabel 5.1. er vist maksimalværdier i afstanden 500 m fra værket, altså den afstand hvori der for denne vejr-situation er fundet de største dosisværdier. Der er vist dosiskomponenternes fordeling på de forskellige organer, og der er i sidste kolonne vist tærskelværdierne for akutte virkninger, der er nærmere beskrevet i kapitel 3.

Som det ses af tabel 5.1. kommer knoglemarvsdoserne højst op på 280 mSv ved værkets hegn. Der vil derfor ikke være risiko for tidlige dødsfald eller akutte sygdomstilfælde.

Af tabel 5.1. ses, at skjoldbruskkirteldosis i afstanden 500 m bliver 9870 mSv, hvilket ikke vil medføre akutte skader.

Det ses yderligere, at lungedosis højst bliver 379 mSv, hvilket ikke giver risiko for lungesygdomme endsige tidlige dødsfald.

En mere detaljeret analyse med bl.a. dosisfordeling på isotop-grupper findes i bilag C.

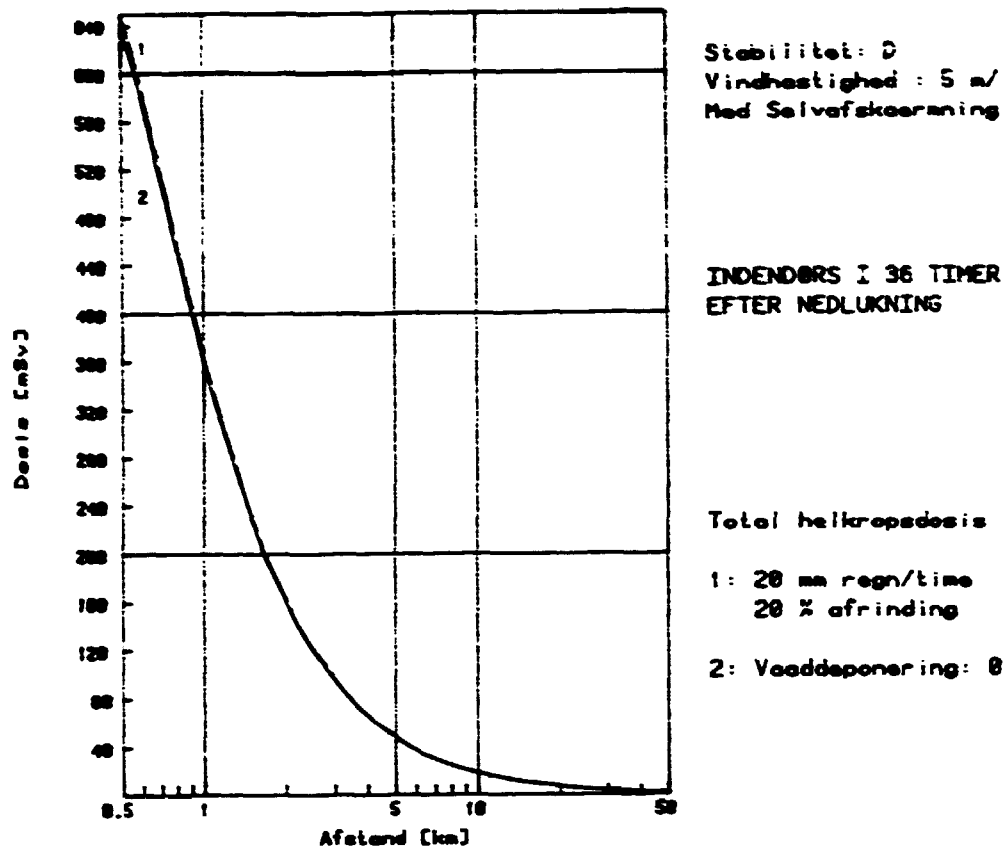


Fig. 5.4. Total helkropsdosis ved 20 mm regn i timen, sammenlignet med kurven uden regn.

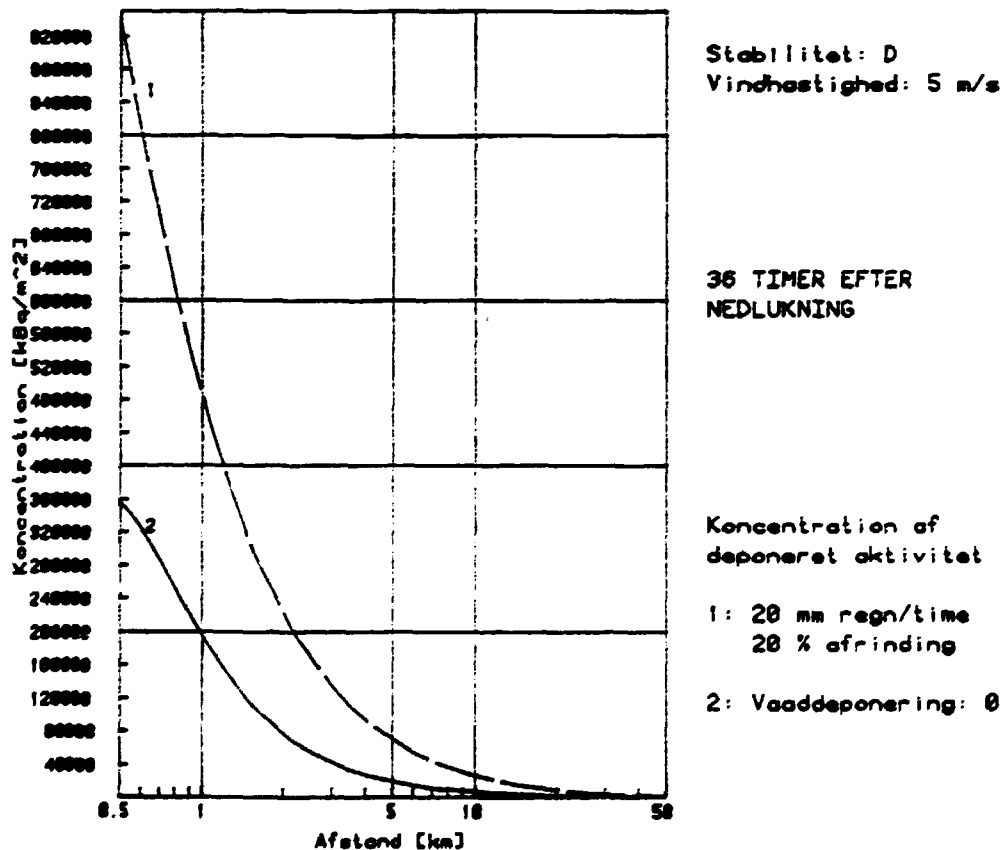


Fig. 5.5. Koncentration af deponeret aktivitet ved 20 mm regn i timen, sammenlignet med kurven uden regn.

5.1.2. Pasquill D. 5 m/s, 20 mm regn/time

På fig. 5.4 er vist den totale helkropps-dosis ved 20 mm regn i timen og til sammenligning kurve 4 fra fig. 5.1 og 5.3. Der er i beregningen taget hensyn til udvaskningen af den radioaktive sky, og der regnes med, at 20% af det udvaskede materiale vil løbe bort med regnvandet. Det ses, at dosis stiger en smule lige ved værket; men fra 0,7 km er de 2 kurver næsten sammenfaldende.

På fig. 5.5 er vist koncentrationen af deponeret aktivitet ved 20 mm regn i timen sammenlignet med den tilsvarende kurve uden regn. Det ses, at den store regnintensitet medfører ca. 3 gange foretaget koncentration.

Den maksimale dosis i omgivelserne fås ved værket hegn, der er sat til en afstand af 500 m. I dette punkt er helkropps-dosis opdelt i dosiskomponenter i tabel 5.2.

Doser i mSv	Gammadosis fra		Inhalation	Total dosis i maksimal- punktet
	skypassage	deponeret aktivitet efter 36 timer		
Helkrop	277	21	349	647

Tabel 5.2. Doser 500 m fra værket ved Pasquill D, vindhastighed 5 m/s og 20 mm regn i timen 36 timer efter nedlukning.

På fig. 5.6. er den totale helkropsdosis ved en regnintensitet på 20 mm i timen opdelt i dosiskomponenter. Ved sammenligning med fig. 5.1. ses, at gammadosis fra skypassage og inhalationsdosis er omtrent uforandret fra situationen uden regn. Gammadosis fra deponeret aktivitet er derimod steget svarende til stigningen i koncentration af deponeret aktivitet på fig. 5.5. Denne dosiskomponent vokser fra 1,4% til 3,3% af den totale dosis ved værkets hegn.

5.1.3. Pasquill F, 2 m/s, med og uden meandering

På fig. 5.7. er vist total helkropsdosis ved stabilitet F med en vindhastighed på 2 m/s. Der er ikke beregnet meander faktorer på grundlag af vejrstatistikken, men som et regneeksempel er valgt en meanderfaktor på 4. Endelig er til sammenligning vist den totale helkropsdosis ved stabilitet D, som går igen fra de foregående figurer.

Da stabilitet F har mindre horisontal spredning end stabilitet D, bliver skyen mere koncentreret, og det medfører, at centerliniedosis vokser. De to stabilitet F situationer giver derfor større centerliniedoser end stabilitet D.

Den vertikale spredning er også mindre ved stabilitet F end ved stabilitet D, dette medfører, at skyen når jordoverfladen i større afstand fra værket. Den maksimale dosis i omgivelserne fås 1 km fra værket. I denne afstand er skjoldbruskkirtel- og helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter for de to stabilitet F situationer i tabel 5.3.

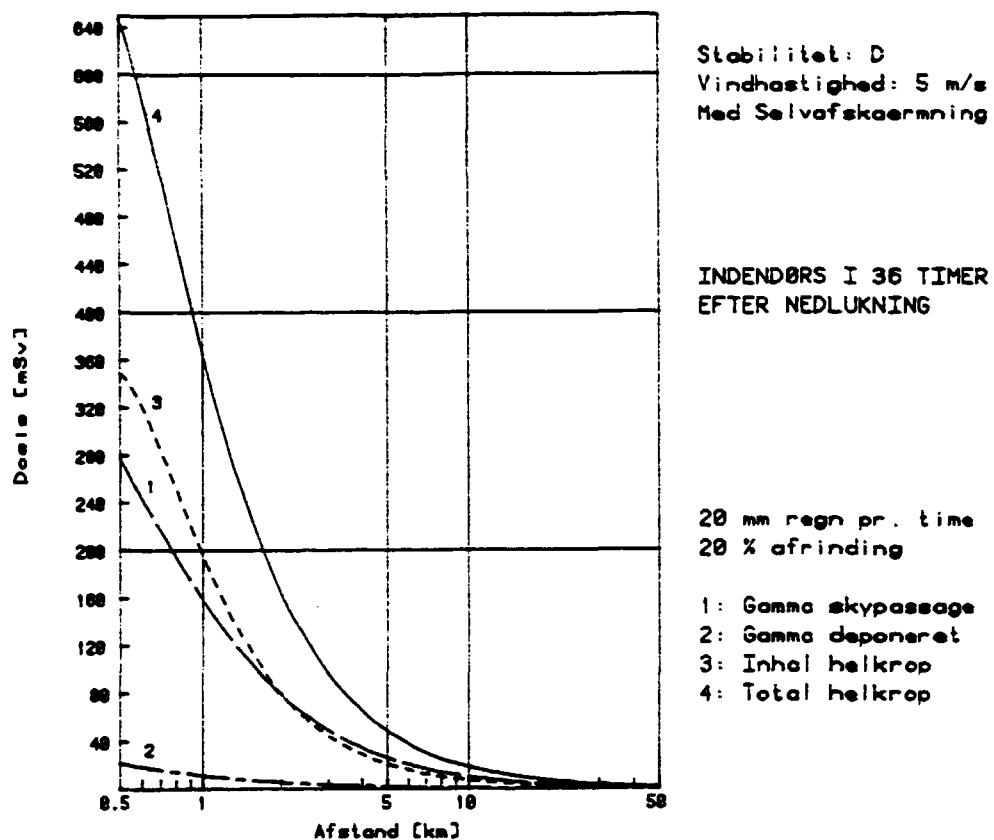


Fig. 5.6. Total helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter ved 20 mm regn i timen.

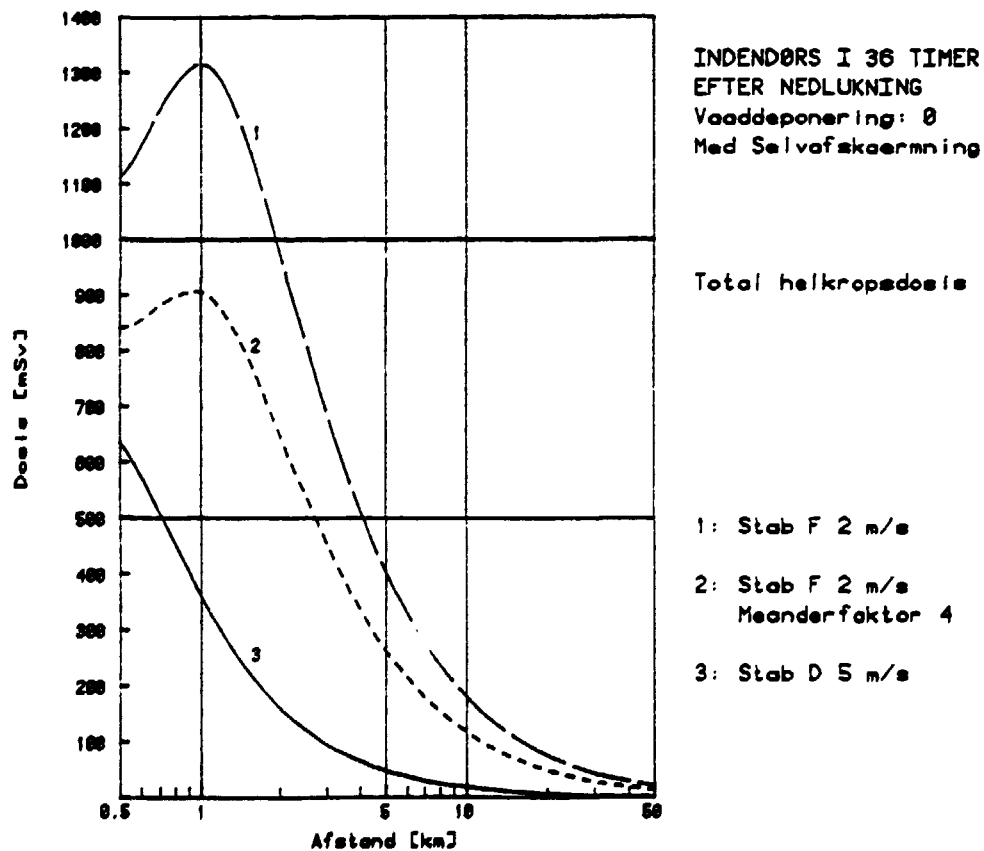


Fig. 5.7. Total helkropsdosis ved stabilitet F og D.

Doser i mSv	Gammadosis fra		Inhalation	Total dosis i maksimal- punktet
	skypassage	deponeret aktivitet		
Skjoldbruskk.				
ingen meander	783	5	16600	17388
meander faktor 4	545	3	11200	11748
Helkrop				
ingen meander	700	4	612	1316
meander faktor 4	487	2	417	906

Tabel 5.3. Doser 1 km fra værket ved Pasgill F, vindhastighed 2 m/s.

5.1.4. Normal færden i 1 år

Den totale helkropsdosis stiger som funktion af tiden det første år efter uheldet. Stigningen skyldes udelukkende gammadosis fra deponeret aktivitet, idet inhalationsdosis og gammadosis fra skypassage ikke vokser, når skypassagen er forbi.

Afstand	500 m	5 km	10 km	50 km
<u>D, 5 m/s, ingen regn</u>				
Efter 36 timer	1,41%	1,08%	0,98%	0,80%
Efter 365 døgn	8,2 %	6,3 %	5,7 %	5,5 %
<u>D, 5 m/s, 20 mm/h</u>				
Efter 36 timer	3,26%	4,02%	4,75%	4,77%
Efter 365 døgn	27,2 %	29,2 %	29,7 %	13,6 %

Tabel 5.4. Gammadosis fra deponeret aktivitets andel af den totale helkropsdosis efter 36 timers indendørs ophold og efter yderligere 1 års normal færden.

I tabel 5.4. er vist andelen af dosis fra deponeret aktivitet efter hhv. 36 timer og et års normal færden på centerlinien i fire forskellige afstande fra uheldsstedet.

5.2. Kollektivdoser

På fig. 5.7. og fig. 5.8. er vist befolkningsfordelingen omkring Forsmark ud til 72 km fra værket opdelt i 12 sektorer på hver 30°. 78% af befolkningen ud til 72 km er fordelt i sektoren 195°-225° (med 44%) og sektoren 285°-315° (med 34%). Den store befolkning i disse to sektorer skyldes henholdsvis Uppsala og Gävle begge mellem 60 og 70 km fra værket.

Der beregnes kollektive helkropsdoser efter 1 år. Efter det første 1 1/2 døgn indendørs regnes med normal færden i 365 dage på det pågældende sted. Det viser sig, at 95% af den samlede dosis modtages det første 1 1/2 døgn under skypassagen, medens de resterende 365 dages ophold kun giver anledning til 5% af dosis.

For at finde de maksimale konsekvenser beregnes kollektivdoser for 36 forskellige retninger (Fra 195° til 225° og fra 285° til 315° i 3° spring og udenfor disse intervaller fra 60° til 345° i spring på 15°). Der tages hensyn til et område på $\pm 25^\circ$ omkring disse udslipsretninger. Det viser sig, at de to udslipsretninger, der giver størst doser er 204° og 297° med henholdsvis 121 og 111 mandSv.

Selv om befolkningen i retning 210° er 26% større end befolkningen i retning 300°, bliver de kollektive doser i retning 204° kun 9% større end doserne i retning 297°, idet Uppsala ligger 4 km længere væk fra kraftværket end Gävle (henholdsvis 67 og 63 km).

Den maksimale dosis på 121 mandSv svarer til den naturlige baggrundsstråling på ét år til den pågældende befolkning på ca. 115000 fra kosmisk stråling, intern stråling og stråling fra undergrunden på ca. 1 mSv/år. Hertil kommer bidrag fra medicinsk bestråling og radon fra boliger.

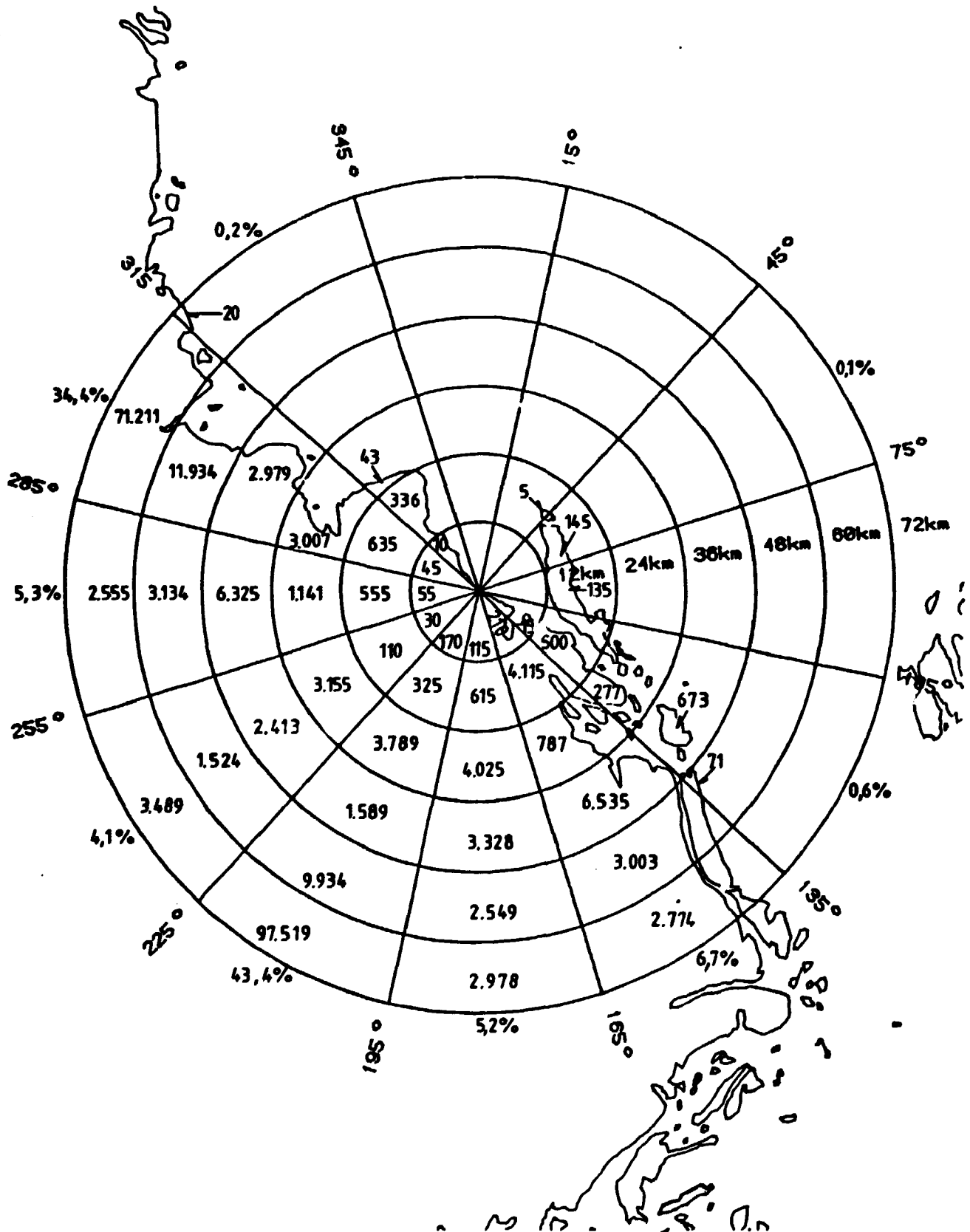


Fig. 5.8. Befolkningsfordeling i sektorsegmenter 0-72 km fra Forsmark ifølge Bergqvist, 1980. Samlet befolknings-tal ud til 72 km er 260.880.

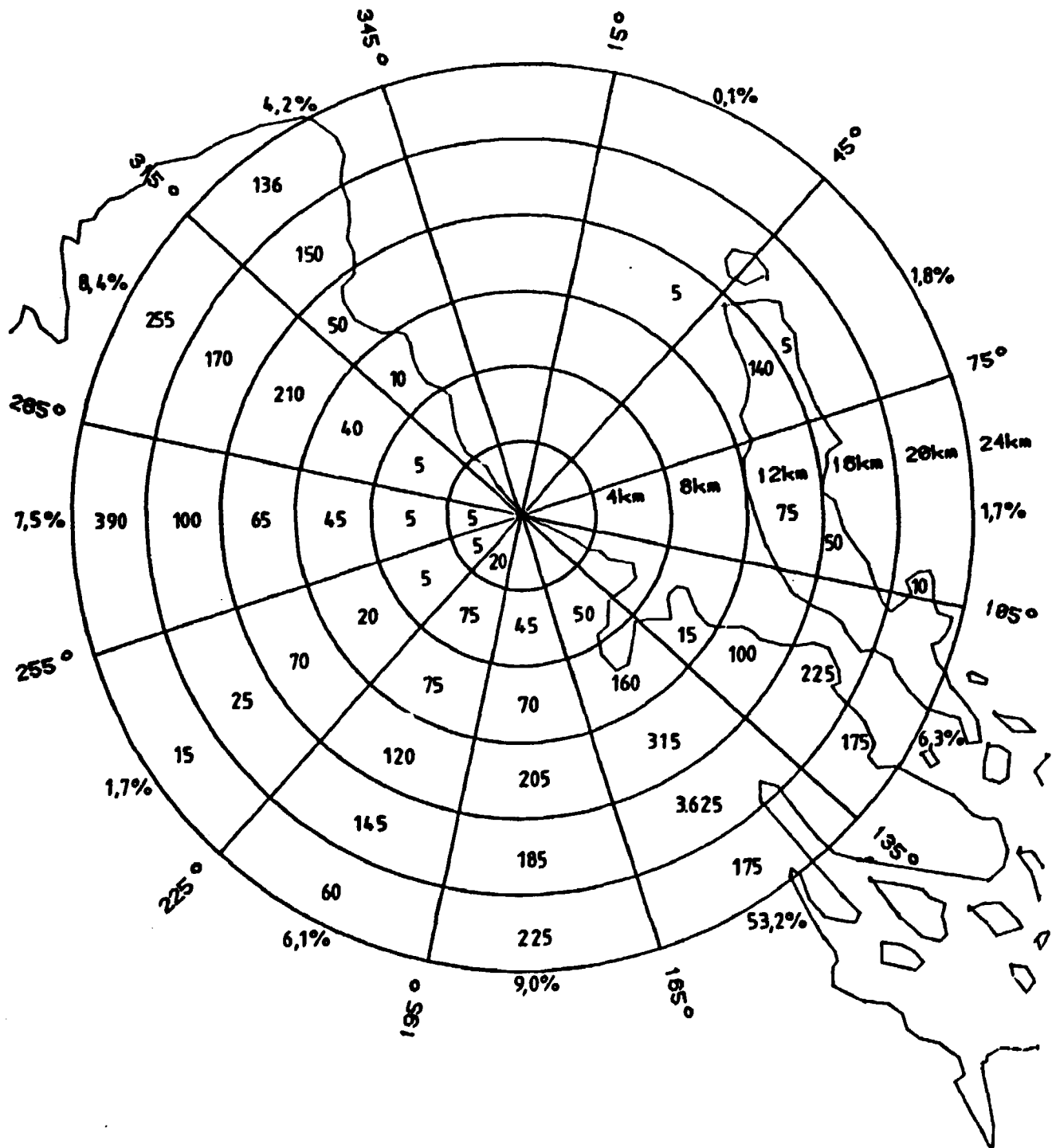


Fig. 5.9. Befolkningsfordeling i sektorsegmenter 0-24 km fra Forsmark ifølge Bergqvist, 1980. Samlet befolknings-tal ud til 24 km er 8.126.

6. REFERENCER

- ALDRICH, D.C., m.fl., 1978, "Public protection strategies for potential nuclear reactor accidents: Sheltering concepts with existing public and private structures", SAND 77-1725.
- BERGQVIST, G. och FINCK, R., 1980, "Betolkningens geografiska fördelning kring svenska kärnkraftverk", FOA rapport C 40122-A3.
- CEDERVALL, B., 1985, "Dosomvandlingsfaktorer för beräkning av omgivningskonsekvenser vid missöde eller haveri vid kärnkraftverk", Vattenfall KS-60/84, Rev. 1.
- CHRISTENSEN, H., 1984, "Literature survey of the radiation chemistry in containment after a severe accident", Studsvik NW-84/640.
- ENGELMANN, R.J., 1968, "The calculation of precipitation scavenging". "In Meteorology and atomic energy", edited by D.H. Slade, USAEC Technical Information Center, Oak Ridge, Tennessee, 208-221.
- GALE, H.J., m.fl., 1963, "The weathering of caesium 137 in soil", AERE-R-4241.
- HEDEMANN JENSEN, P., 1984, "Calculated shielding factors for selected European houses", Risø-M-2474.
- HEINEMANN, K. and VOGT, K.J., 1980, "Measurements of the deposition of iodine onto vegetation and of the biological half-life of iodine on vegetation", Health Physics 39, 463-502.
- ICRP 79. "Limits for the intake of radionuclides by workers". ICRP publication 30, part 1, 1979.
- LAURIDSEN, B. and HEDEMANN JENSEN, P., 1981, "Shielding factors for vehicles to gamma radiation from activity deposited on ground surfaces", Risø-M-2339.

MILJØSTYRELSEN, 1984, "Rapport om nedsættelsesfaktorer fra doser ved ophold inden døre".

NRC, 1975, "Reactor Safety Study. An assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants", WASH-1400 (NUREG 75/014).

O'BRIEN, K. and SANNA, R., 1976, "The distribution of absorbed dose-rates in humans from exposure to environmental gamma rays". Health Physics 30, 71-78.

RITCHIE, L.T. et al., 1984, "CRAC2 model description". NUREG-CR-2552/SAND82-0342.

ROED, J., 1981, "Undersøgelse af overfladedeposering med henblik på beregning af deposeringen af luftbåret materiale frigjort ved kernenedsmeltning i kraftreaktorer", Risø-M-2274.

SEHMEL, G.A., 1980, "Model predictions and a summary of dry deposition velocity data", accepteret til Atmospheric environment i 1981.

STATENS STRALSKYDDSinSTITUT, 1979, "Effektivare-Beredskap. Konsekvensbeskrivninger". Vol. 5.

THYKIER-NIELSEN, S., 1980, "The Risø model for calculating the consequences of the release of radioactive material to the atmosphere", Risø-M-2214.

THYKIER-NIELSEN, S. and LARSEN, S., 1982, "The importance of deposition for individual and collective doses in connection with routine releases from nuclear power plants", Risø-M-2205.

USAEC, (U.S. Atomic Energy Commission), 1972, "Onsite meteorological programs". Safety Guide 23, Office of Standards Development (NRC Regulatory Guide 1.23).

Bilag A: Meteorologistatistik

Udslips- retning Grader	Stabilitet A % m/s	Stabilitet B % m/s	Stabilitet C % m/s	Stabilitet D % m/s	Stabilitet E % m/s	Stabilitet F % m/s
15- 45	0,27 6,50	0,27 6,26	0,16 6,07	3,91 6,78	5,12 7,37	1,81 7,08
45- 75	0,11 4,63	0,10 4,80	0,07 5,45	1,90 5,57	2,71 6,99	1,32 6,56
75-105	0,11 5,44	0,04 8,19	0,08 7,13	1,43 5,40	2,17 6,72	1,64 6,39
105-135	0,23 5,97	0,15 5,10	0,13 4,16	3,67 5,10	2,58 5,79	1,87 5,04
135-165	1,46 4,06	0,58 3,70	0,30 3,98	5,44 4,97	1,65 4,23	0,70 2,92
165-195	3,11 3,32	0,77 2,75	0,43 2,75	5,81 5,34	1,96 5,17	2,17 1,17
195-225	0,80 5,23	0,25 4,85	0,11 6,44	3,45 6,73	2,19 6,38	0,79 2,90
225-255	0,50 4,58	0,17 5,15	0,09 4,11	2,52 6,20	1,54 5,33	0,60 2,97
255-285	0,24 6,40	0,10 3,83	0,05 4,53	2,45 7,01	1,84 5,15	0,43 2,77
285-315	0,15 4,92	0,08 4,53	0,11 5,01	2,81 6,15	2,93 5,83	0,57 3,89
315-345	0,20 5,95	0,05 5,06	0,05 4,39	3,12 5,25	4,03 5,96	1,12 4,98
345- 15	0,49 6,68	0,23 5,75	0,15 5,45	3,70 5,63	4,73 6,84	1,15 6,04

Tabel A1. Øverste tal angiver fordelingen af stabilitet i de enkelte udslipsretninger for Forsmark i % af perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombination. Der benyttes vindhastighed og retning for højden 96 m.

Udslipe- retning Grader	Vindhastighed					TOTAL
	under 1 m/s %	1-3 m/s %	3-6 m/s %	6-10 m/s %	over 10 m/s %	
15- 45	0,05 0,65	0,64 2,05	2,99 4,43	6,23 7,77	1,63 11,32	11,54 7,06
45- 75	0,13 0,56	0,66 1,87	1,78 4,43	2,88 7,60	0,75 11,22	6,20 6,37
75-105	0,07 0,63	0,77 1,80	1,52 4,37	2,46 7,76	0,65 10,91	5,46 6,27
105-135	0,16 0,63	1,39 1,98	3,68 4,30	2,97 7,52	0,43 11,06	8,63 5,30
135-165	0,26 0,64	2,96 1,98	4,37 4,12	2,01 7,33	0,55 12,14	10,14 4,47
165-195	6,49 0,50	1,49 1,98	2,32 4,08	1,71 7,57	2,24 12,79	14,25 4,02
195-225	0,14 0,56	1,50 1,96	2,40 4,18	2,36 7,69	1,18 12,17	7,58 6,01
225-255	0,08 0,59	1,05 1,89	2,24 4,31	1,53 7,23	0,53 12,11	5,42 5,38
255-285	0,10 0,74	0,84 1,90	2,00 4,30	1,48 7,41	0,70 12,61	5,12 5,87
285-315	0,14 0,71	0,96 1,97	2,43 4,44	2,70 7,66	0,42 11,32	6,66 5,75
315-345	0,09 0,68	0,96 1,99	3,75 4,47	3,34 7,28	0,42 10,81	8,56 5,56
345- 15	0,08 0,63	0,89 2,06	3,58 4,42	5,10 7,66	0,79 11,10	10,45 6,27
Total	7,79 0,53	14,08 1,96	33,06 4,32	34,76 7,58	10,30 11,83	100 5,60

Tabel A2. Øverste tal angiver fordelingen af vindhastigheder i de enkelte udslipe-
retninger for Forårsk i % af perioden 23/4-1976 til 26/2-1978.
Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombina-
tion. Der benyttes vindhastighed og retning for højden 96 m.

Vindhastighed	Stabilitet A % m/s	Stabilitet B % m/s	Stabilitet C % m/s	Stabilitet D % m/s	Stabilitet E % m/s	Stabilitet F % m/s
Under 1 m/s	1,69 0,50	0,42 0,51	0,24 0,51	2,77 0,53	0,92 0,57	1,75 0,52
1-3 m/s	0,86 2,21	0,61 2,15	0,28 2,03	5,58 1,95	4,06 1,91	2,70 1,92
3-6 m/s	3,05 4,14	1,04 4,17	0,73 4,38	13,98 4,35	9,57 4,37	4,69 4,24
6-10 m/s	1,49 7,35	0,55 7,43	0,40 7,27	12,52 7,53	15,23 7,64	4,57 7,65
Over 10 m/s	0,58 12,73	0,16 12,05	0,08 11,85	5,35 12,10	3,68 11,41	0,46 10,87
Total	7,67 4,39	2,78 4,28	1,73 4,46	40,20 5,77	33,44 6,23	14,18 4,66

Tabel A3. Øverste tal angiver fordelingen af stabilitet i de enkelte vindhastighedsintervaller for Forsmark i % af perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Nederste tal angiver middelvindehastigheden for den pågældende kombination.

Udslips- retning Grader	Stabilitet B %	Stabilitet C %	Stabilitet D %	Stabilitet E %	Stabilitet F %	Total %
15- 45	0,3	-	8,0	3,4	0,3	11,9
45- 75	-	-	2,6	1,4	0,6	4,5
75-105	-	-	2,6	1,1	0,3	4,0
105-135	-	-	5,7	1,7	0,6	7,9
135-165	-	-	10,5	1,1	-	11,6
165-195	-	0,6	9,9	1,1	1,1	12,8
195-225	0,3	-	6,0	1,4	1,1	8,8
225-255	-	-	2,6	1,7	-	4,3
255-285	-	-	4,8	2,0	0,3	7,1
285-315	-	-	5,4	2,0	-	7,4
315-345	-	-	3,1	4,5	0,9	8,5
345- 15	0,3	0,3	5,4	4,5	0,6	11,1
Total	0,9	0,9	66,5	26,1	5,7	100

Tabel A4. Fordelingen af den tid det regner opdelt i udslipsretninger og stabiliteter. Der er ingen tilfælde af regn i stabilitet A, som derfor ikke er medtaget i tabellen. Tabellen omfatter kun 2,67% af perioden fra 23/4-1976 til 26/2-1978, idet det er tørvejr i de resterende 97,33% af perioden.

Bilag B: Dosisomregningsfaktorer

Isotop	Knoglemarv Sv/Bq	Lunger Sv/Bq	Skjoldbruskk. Sv/Bq	Hel krop Sv/Bq
Rc 85mW	1,05E-13	5,68E-14	5,41E-14	2,11E-14
Rc 85 W	1,65E-13	4,86E-14	4,86E-14	2,70E-14
Rc 87 W	3,51E-13	2,59E-13	2,62E-13	8,11E-14
Rc 88 W	8,38E-13	5,41E-13	5,41E-13	1,81E-13
Rb 88 V	1,44E-12	1,03E-10	3,00E-12	2,20E-11
Rb 89 V	3,10E-12	5,47E-11	3,62E-12	1,00E-11
Sr 89 V	1,27E-11	7,09E-8	6,40E-12	1,00E-8
Sb 127 V	1,89E-10	7,91E-9	1,95E-10	1,50E-9
Sb 129 V	1,87E-11	7,88E-10	2,86E-11	1,60E-10
Te 127mV	2,84E-11	3,59E-8	6,94E-12	5,30E-9
Te 127 V	7,39E-12	4,47E-10	6,46E-12	7,80E-11
Te 129mV	8,87E-10	2,63E-8	1,35E-10	5,50E-9
Te 129 V	1,86E-13	1,28E-10	2,04E-13	1,80E-11
Te 131mV	2,14E-10	2,17E-9	2,22E-10	1,50E-9
Te 131 V	1,41E-12	6,78E-11	1,26E-12	1,20E-10
Te 132 V	4,10E-10	2,50E-9	2,94E-10	2,10E-9
I 131uV	7,77E-11	6,76E-10	1,49E-7	8,80E-9
I 131oV	7,77E-11	6,76E-10	1,49E-7	8,80E-9
I 132uV	2,12E-11	2,86E-10	3,58E-9	9,10E-11
I 132oV	2,12E-11	2,86E-10	3,58E-9	9,10E-11
I 133uV	3,75E-11	8,27E-10	9,70E-8	1,50E-9
I 133oV	3,75E-11	8,27E-10	9,70E-8	1,50E-9
I 134uV	9,04E-12	1,54E-10	6,06E-10	3,00E-11
I 134oV	9,04E-12	1,54E-10	6,06E-10	3,00E-11
I 135uV	4,91E-11	5,28E-10	1,88E-8	3,00E-10
I 135oV	4,91E-11	5,28E-10	1,88E-8	3,00E-10
Xe 133 W	4,32E-13	1,11E-13	1,08E-13	6,76E-14
Xe 135 W	5,68E-13	2,54E-13	2,46E-13	1,05E-13
Cs 134 V	4,53E-9	1,81E-8	2,36E-9	1,30E-8
Cs 136 V	3,00E-9	3,61E-9	2,34E-9	2,00E-9
Cs 137 V	3,74E-9	1,48E-8	2,08E-9	8,70E-9
Cs 138 V	8,08E-12	1,51E-10	1,32E-11	2,40E-11

Tabel Bl. De i beregningerne brugte dosisomregningsfaktorer for inhalationsdosis. De benyttede integrationstider er for knoglemarv 30 dage, for lunger 1 år, for skjoldbruskkirtel 1 uge og for hele kroppen 50 år. For de med V mærkede isotoper er faktorerne opgivet af Vattentall, medens der for de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, Tabel D-2.

Energigruppe	Knoglemarv	Lunger	Skjoldbruskk.	Helkrop.
under 0,08 MeV	0,4700	0,4500	0,5300	0,4500
0,08 MeV - 0,15 MeV	0,5100	0,5400	0,5717	0,5400
0,15 MeV - 0,25 MeV	0,4500	0,4600	0,5756	0,4900
0,25 MeV - 0,51 MeV	0,4800	0,4900	0,5691	0,5200
0,51 MeV - 0,85 MeV	0,5000	0,5100	0,6400	0,5400
0,85 MeV - 1,33 MeV	0,5271	0,5311	0,7373	0,5644
1,33 MeV - 2,03 MeV	0,5600	0,6100	0,6400	0,6200
over 2,03 MeV	0,6000	0,6200	0,6900	0,6400

Tabel B2. Selvfaskærnningsfaktorer brugt ved beregning af gamma-doser fra skypassage og deponeret aktivitet til henholdsvis knoglemarv, lunger, skjoldbruskkirtel og helkrop. (Fra O'Brien, 1976).

Isotop	Selvafskæmningsfaktorer				Dosis i luft (Sv/h)/(Bq/m ²)
	Rnoglemarv	Lunger	Skjoldbruskk.	Helkrop.	
Rb 88	0,569	0,606	0,690	0,624	2,72E-12
Rb 89	0,564	0,576	0,737	0,605	9,34E-12
Sr 89	-	-	-	-	0
Sb127	0,494	0,502	0,619	0,534	3,50E-12
Sb129	0,515	0,527	0,672	0,557	6,71E-12
Te127m	-	-	-	-	0
Te127	-	-	-	-	0
Te129m	0,500	0,510	0,639	0,540	1,40E-13
Te129	0,473	0,476	0,569	0,501	3,23E-13
Te131m	0,512	0,522	0,674	0,553	6,84E-12
Te131	0,516	0,526	0,649	0,552	1,96E-12
Te132	0,452	0,460	0,572	0,488	1,05E-12
I 131u	0,483	0,492	0,578	0,524	2,22E-12
I 131o	0,483	0,492	0,578	0,524	2,22E-12
I 132u	0,504	0,517	0,647	0,546	1,16E-11
I 132o	0,504	0,517	0,647	0,546	1,16E-11
I 133u	0,504	0,512	0,652	0,543	3,79E-12
I 133o	0,504	0,512	0,652	0,543	3,79E-12
I 134u	0,505	0,517	0,664	0,545	1,34E-11
I 134o	0,505	0,517	0,664	0,545	1,34E-11
I 135u	0,536	0,557	0,685	0,581	7,18E-12
I 135o	0,536	0,557	0,685	0,581	7,18E-12
Cs134	0,502	0,513	0,641	0,542	8,01E-12
Cs136	0,509	0,516	0,677	0,548	1,05E-11
Cs137	0,500	0,510	0,640	0,540	3,00E-12
Cs138	0,563	0,595	0,671	0,613	1,16E-11

Tabel B3. De i beregningerne brugte selvafskæmningsfaktorer for deponeret aktivitet. For at beregne gammadosis fra deponeret aktivitet skal koncentrationen af deponeret aktivitet integreres over det betragtede tidsrum, ganges med dosis i luft, med selvafskæmningsfaktoren for det pågældende organ, med afskæmningsfaktoren for indendørs eller normalt ophold og med en faktor 0,7 for jordafskæmning.

Bilag C: Beregningsresultater

På fig. C.1A og C.1B er vist helkropsdoser for 36 timers indendørs ophold opdelt på 5 isotopgrupper: Methyljodid, uorganisk jod, ædelgas, cæsium og andre isotoper. På fig. C.1A er vist den absolutte fordeling, hvor sum-kurven er den samme som kurve 4 på fig. 5.1. og 5.2. På fig. C.1B er sumkurven sat til 100%, og den relative dosisfordeling af de 4 isotopgrupper er vist.

Af kurverne ses, at ædelgas og methyljodid hver giver ca. 48% af den samlede dosis, medens uorganisk jod giver de sidste ca. 4%. Ædelgasser bidrager til den eksterne gammadosis, medens methyljodid bidrager gennem inhalationsdosis. Andelen af organisk jod er konservativt valgt fra WASH-1400.

På fig. C.2A og C.2B er vist koncentrationen af deponeret aktivitet opdelt i 4 isotopgrupper: Methyljodid, uorganisk jod, cæsium og andre isotoper. Ædelgasserne bidrager ikke til koncentrationen af deponeret aktivitet. Cæsiumisotoperne bidrager ikke væsentligt til den deponerede aktivitet 36 timer efter nedlukning, men efterhånden som de mere kortlivede isotoper hentalder, vil cæsiums andel af koncentrationen stige. Dosisfordelingen er ca. 78% til uorganisk jod, ca. 12% til methyljodid og ca. 10% til andre isotoper. Kun en del af jodkoncentrationen skyldes jodudslippet, resten skyldes henfald af Tellur.

På fig. C.3 er vist den totale dosis til skjoldbruskkirtelen i de to stabilitet F situationer og i stabilitet D. Det ses, at stabilitet D giver de største doser indenfor de første 600 m. fordi stabilitet F situationerne først når deres maksimum godt 1 km fra værket.

På fig. C.4 er vist koncentration af deponeret aktivitet ved stabilitet D og de to F stabiliteter. Her fremgår det meget tydeligt, at skyen først opnår maksimal koncentration ved jordoverfladen godt 1 km fra værket i de to F situationer, medens der ved stabilitet D er maksimum allerede ved værkets hegn.

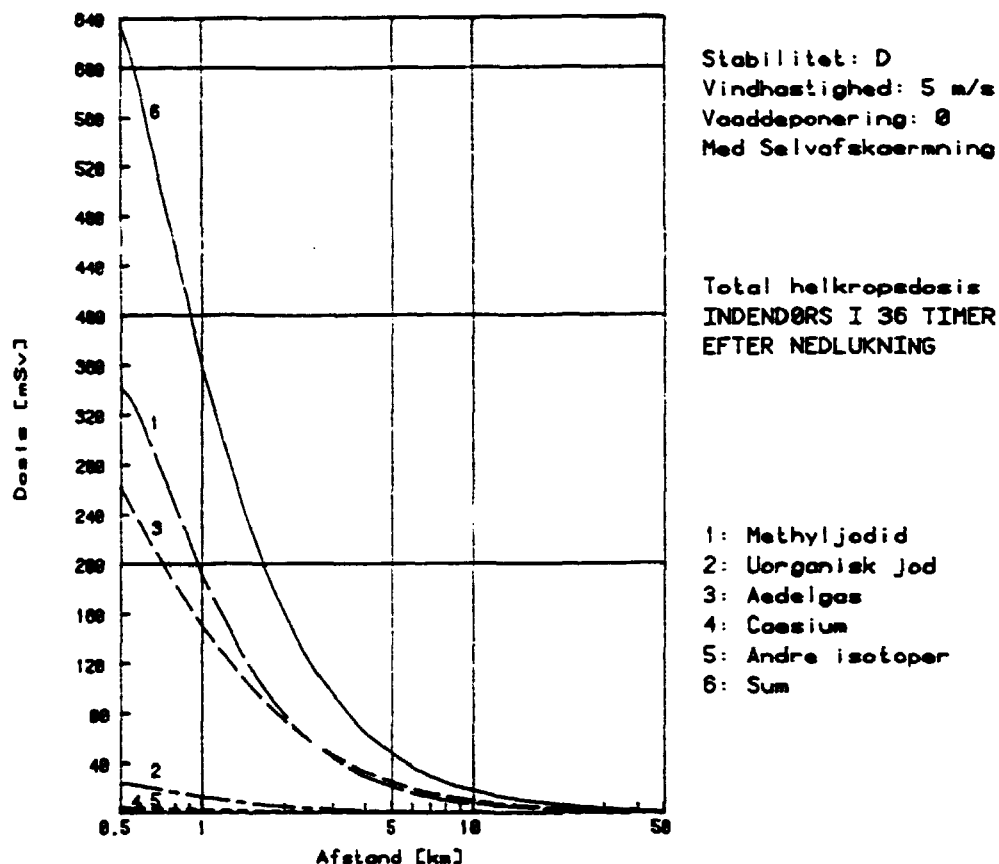


Fig. C.1A. Total helikropsdosis opdelt i isotopgrupper.

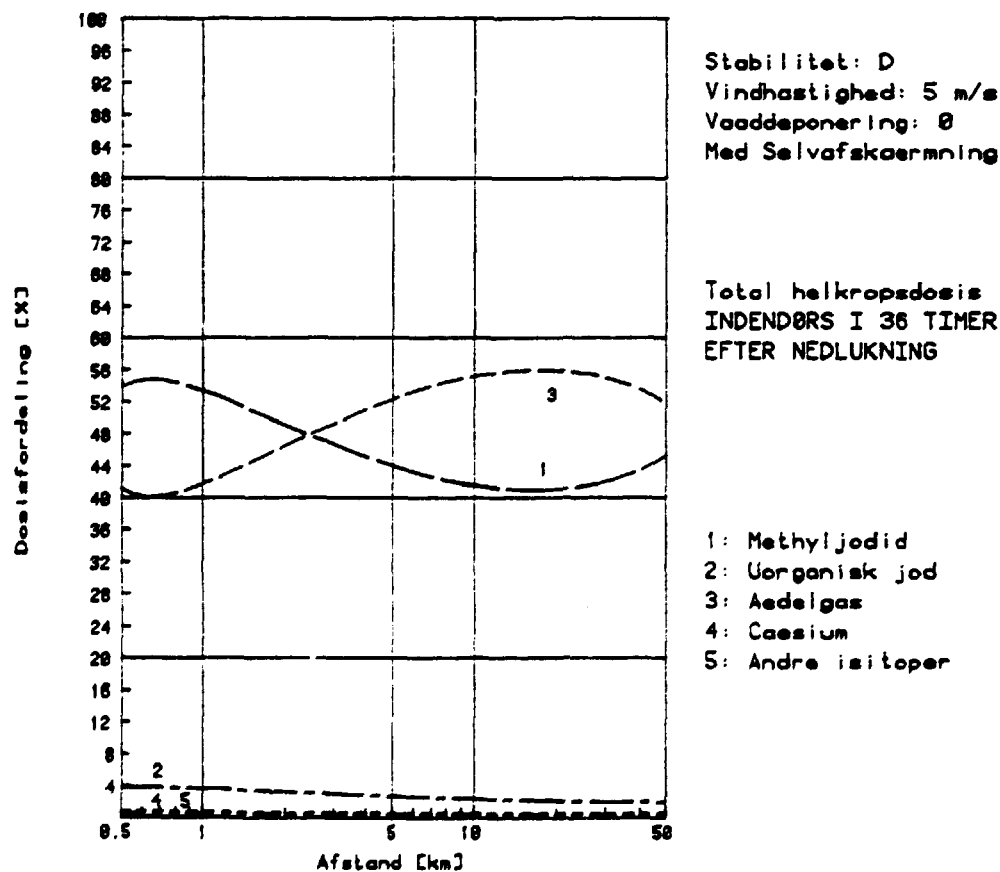


Fig. C.1B. Isotopgruppefordeling af total helikropsdosis.

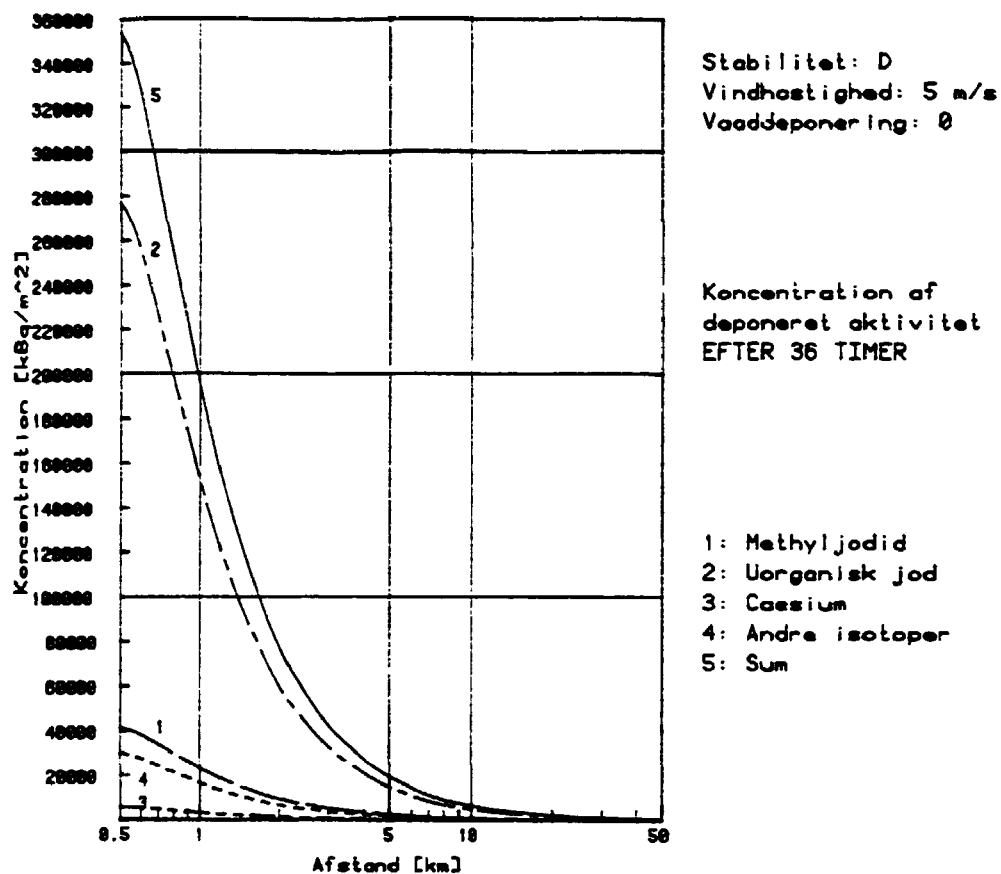


Fig. C.2A. Koncentration af deponeret aktivitet opdelt i isotopgrupper efter 36 timer.

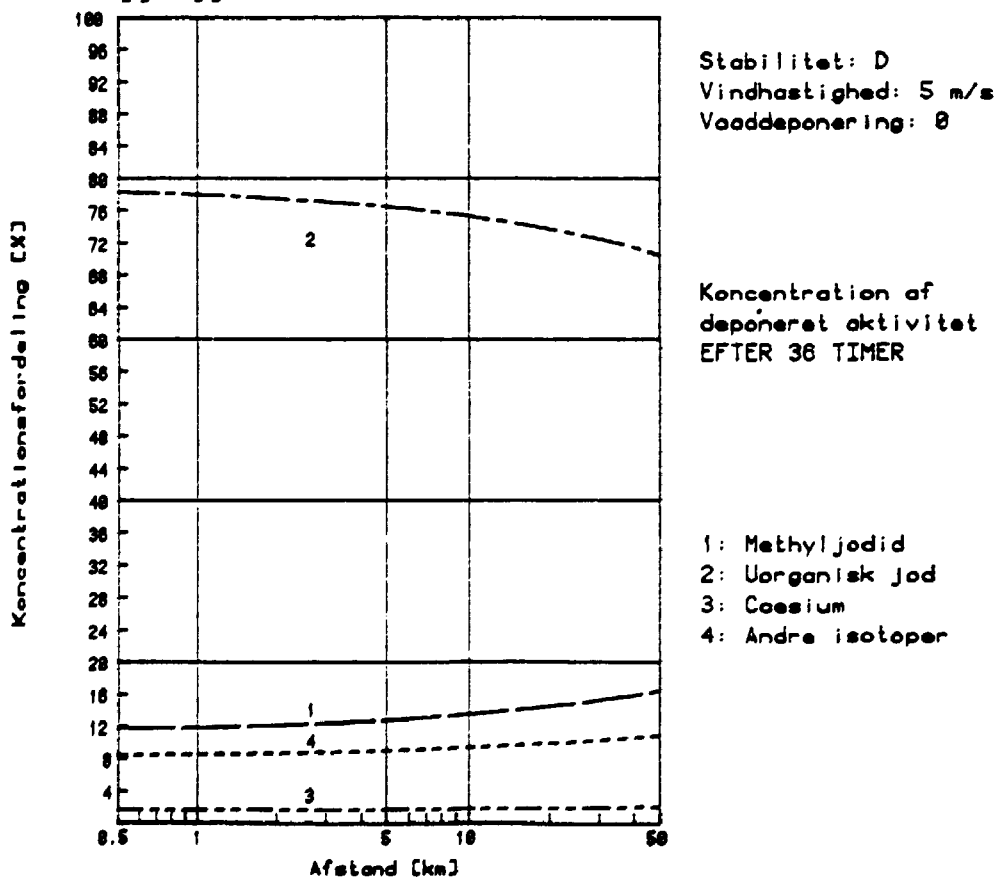


Fig. C.2B. Isotopgrupperfordeling af koncentration af deponeret aktivitet efter 36 timer.

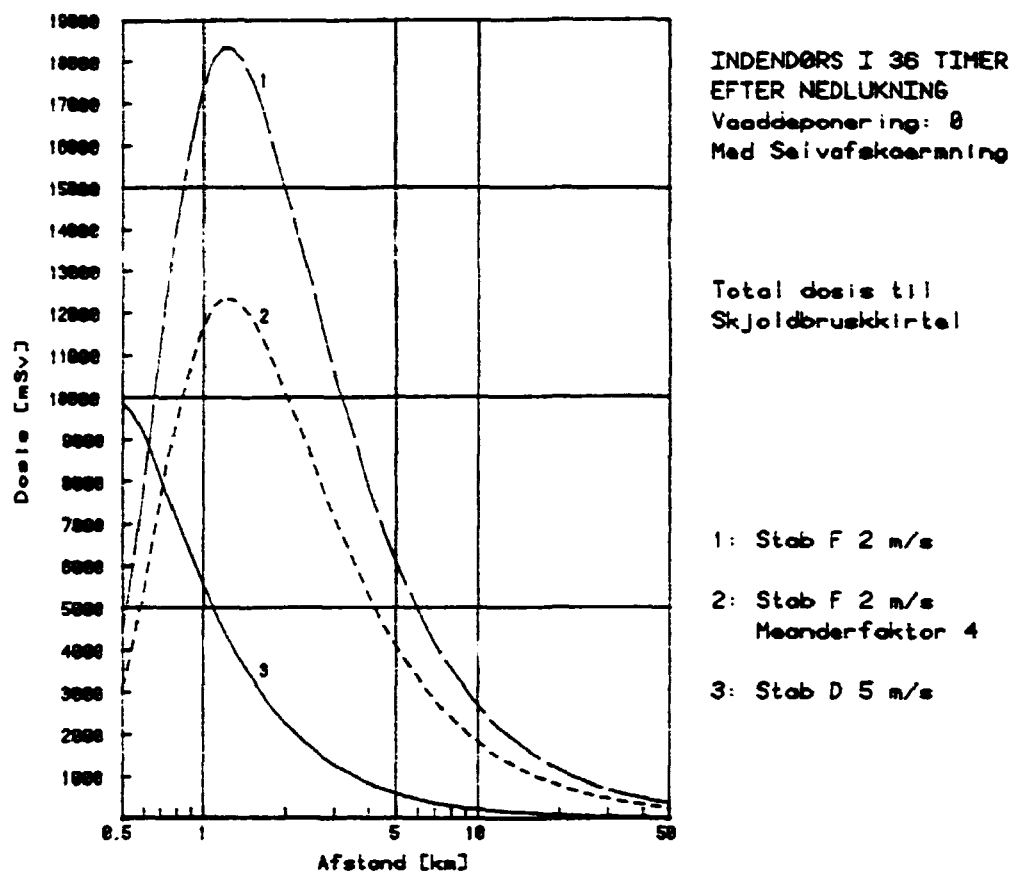


Fig. C.3. Total skjoldbruskkirteldosis ved stabilitet F og D.

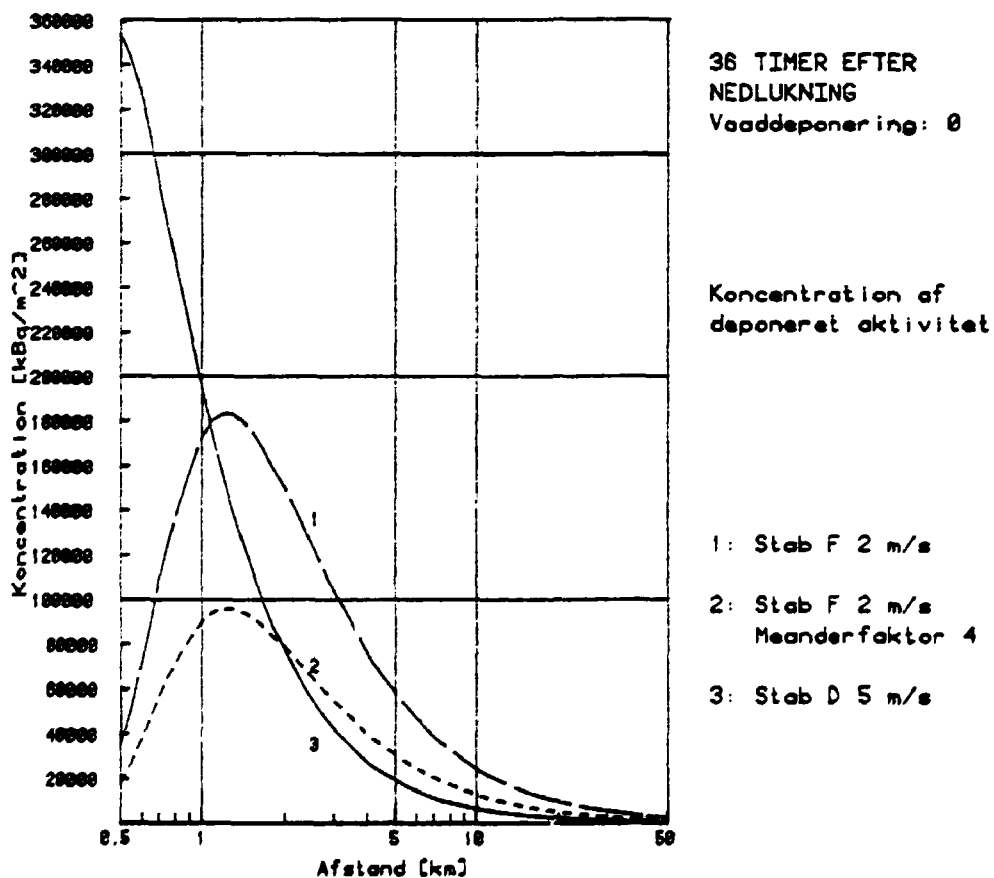


Fig. C.4. Koncentration af deponeret aktivitet ved stabilitet F og D.

På fig. C.5 - C.8 er vist isodosiskurver for henholdsvis gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsdosisbidraget til helkropsdosis og den totale helkropsdosis. På grund af den relativt høje vindhastighed bliver isodosiskurverne relativt smalle og langstrakte. Det er valgt at præsentere isodosiskurverne på et kort med vindretning mod Østhammer, hvor der tåses maksimale doser i afstandsintervallet fra 18 til 61 km. Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel C.1.

	Startafstand fra værket km	Slutafstand fra værket km	Maksimal bredde km	Areal km ²
Gammadosis fra skypassage				
over 2 mSv	0	31	5,4	130
over 5 mSv	0	17	3,2	41
over 10 mSv	0	10	2,0	16
Gammadosis fra deponeret aktivitet				
over 0,02 mSv	0,1	39	6,3	185
over 0,1 mSv	0,1	15	2,6	28
over 0,2 mSv	0,1	9,3	1,7	12
Inhalation helkrop				
over 2 mSv	0,1	25	5,1	100
over 5 mSv	0,1	13	3,0	30
over 10 mSv	0,1	8,3	1,9	12
Total helkrop				
over 3 mSv	0	34	6,3	165
over 5 mSv	0	25	4,7	89
over 10 mSv	0	15	3,1	36

Tabel C.1. Dimensioner på isodosiskurver ved Pasquill D, vindhastighed 5 m/s. Der regnes med 36 timers indendørs ophold efter nedlukning.

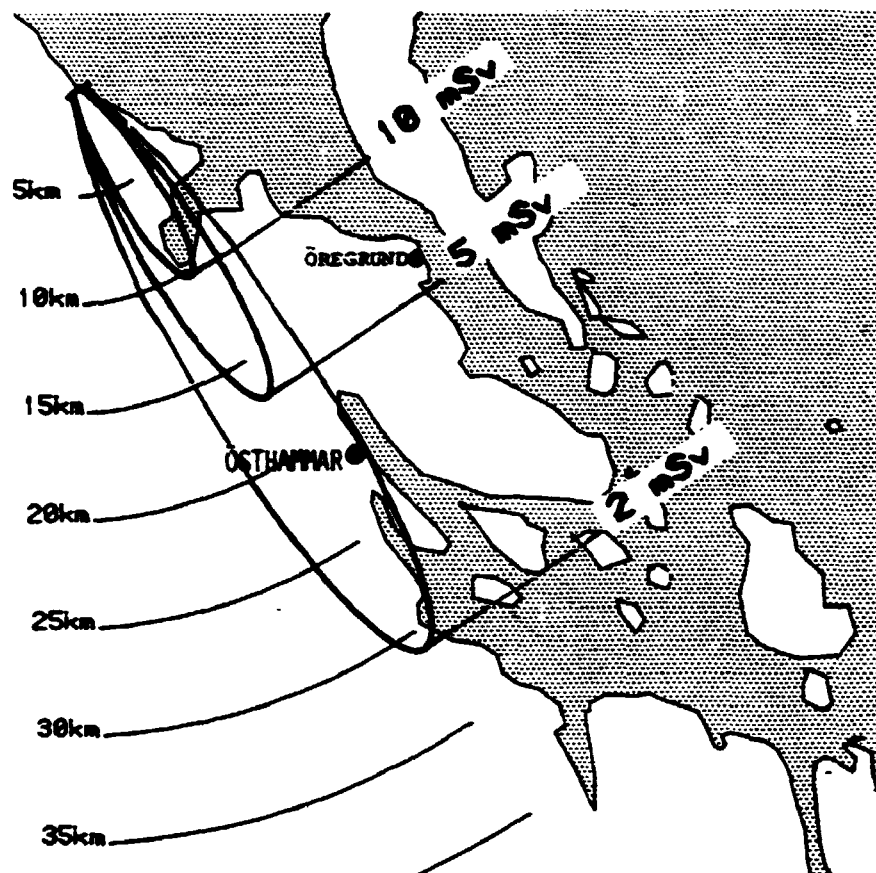


Fig. C.5. Gammadosis fra skypassage ved indendørs ophold.

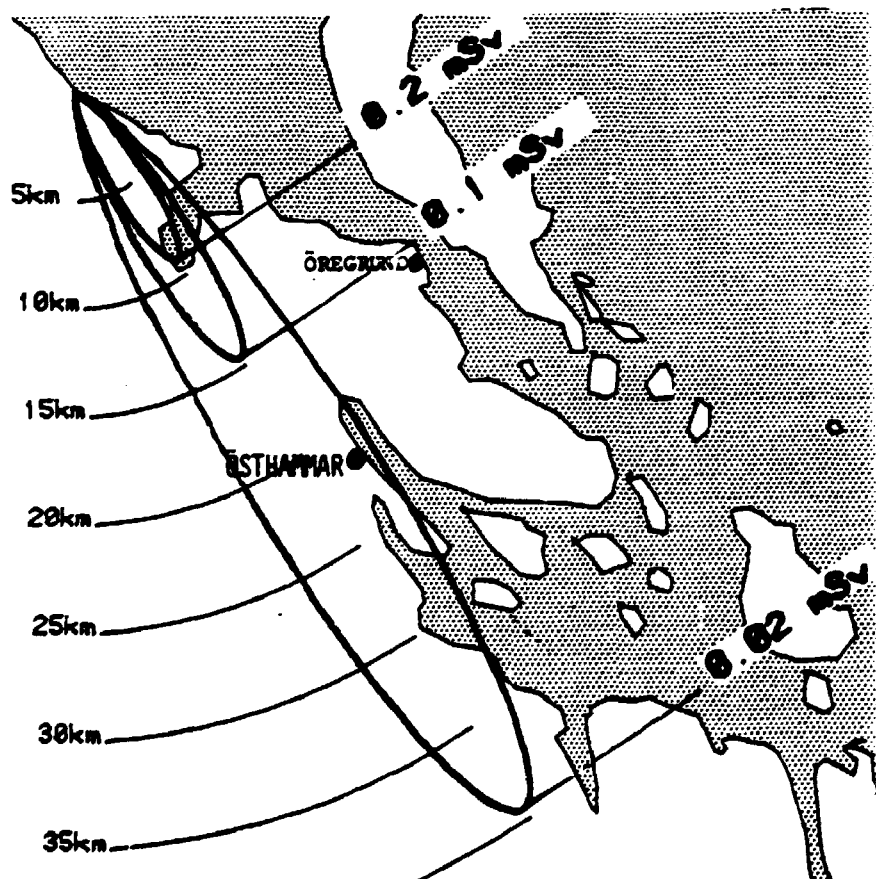


Fig. C.6. Gammadosis fra deponeret aktivitet ved 36 timers indendørs ophold.

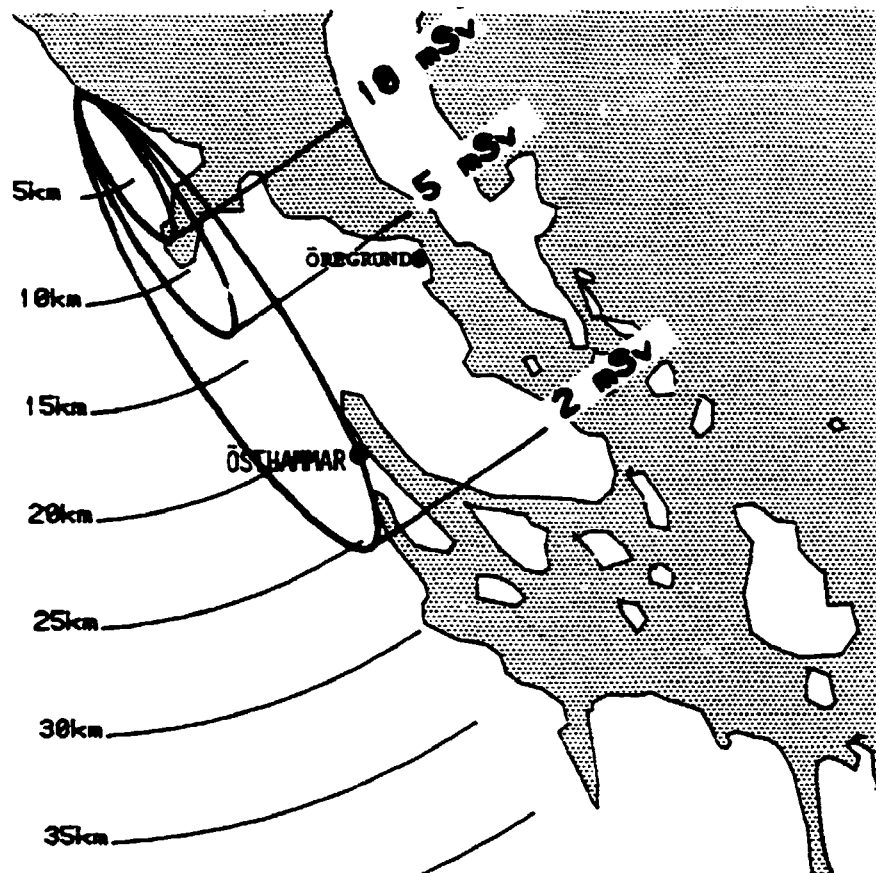


Fig. C.7. Inhalationsdosisbidrag til helkropsdosis med integrationstid på 50 år.

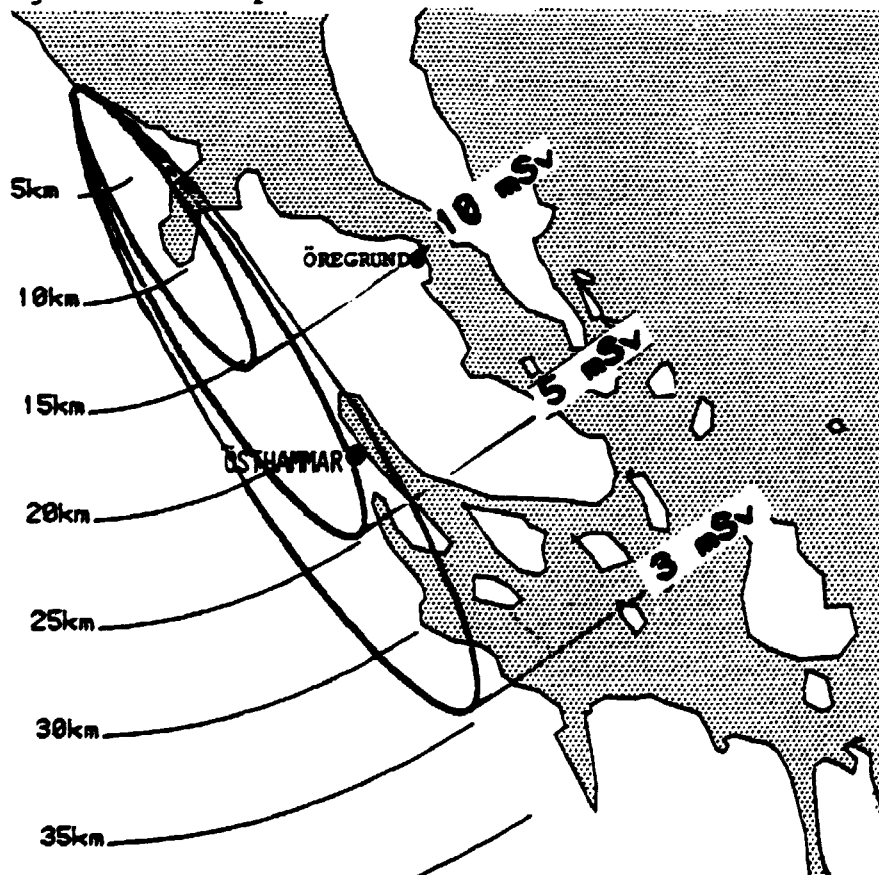


Fig. C.8. Total helkropsdosis med integrationstid på 50 år.

På fig. C.9 er vist total helkropsdosis, som funktion af tiden det første år efter uheldet. Der er regnet med indendørs ophold de første 36 timer og derefter normal farten. I situationen uden regn stiger dosis ca. 7%. Ved 20 mm regn i timen under sky-passagen stiger dosis ca. 35%.

På fig. C.10 er vist, hvordan koncentrationen af deponeret aktivitet falder som funktion af tiden. I regnvejrssituationen er koncentrationen ca. 4 gange så stor efter 1 1/2 døgn og ca. 11 gange så stor efter 1 år. Dvs., der deponeres ca. 4 gange så meget jod og ca. 11 gange så meget cæsium ved 20 mm regn i timen i forhold til situationen uden regn.

På fig. C.11A er vist, hvordan dosishastigheden fra deponeret aktivitet falder som funktion af tiden. Efter 40 dage er dosishastigheden faldet ca. 19 gange og efter 100 dage stabiliseres dosishastigheden.

På fig. C.11B er dosishastigheden fra deponeret aktivitet 500 m fra værket opdelt i isotopgrupper. Det ses, at methyljodid og uorganisk jod tilsammen falder svagt fra 88% til 71% af dosishastigheden de første 10 dage efter udslippet. Herefter falder jodprocenten hurtigt, og der er næsten intet tilbage efter 100 dage. Den stabile dosishastighed fra uorganisk jod de første dage efter udslippet skyldes henfald af tellur.

På fig. C.12 er vist gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år som funktion af afstanden fra værket. De 2 slutpunkter fra fig. C.10 kan gentindes på kurven. De på kurven viste doser gælder for centerlinien i vindretnigen. Doserne falder meget hurtigt med stigende afstand på tværs af centerlinien.

Til illustration af dette er på fig. C.13 vist isodosiskurver for 3 doser fra fig. C.12. Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel C.2.

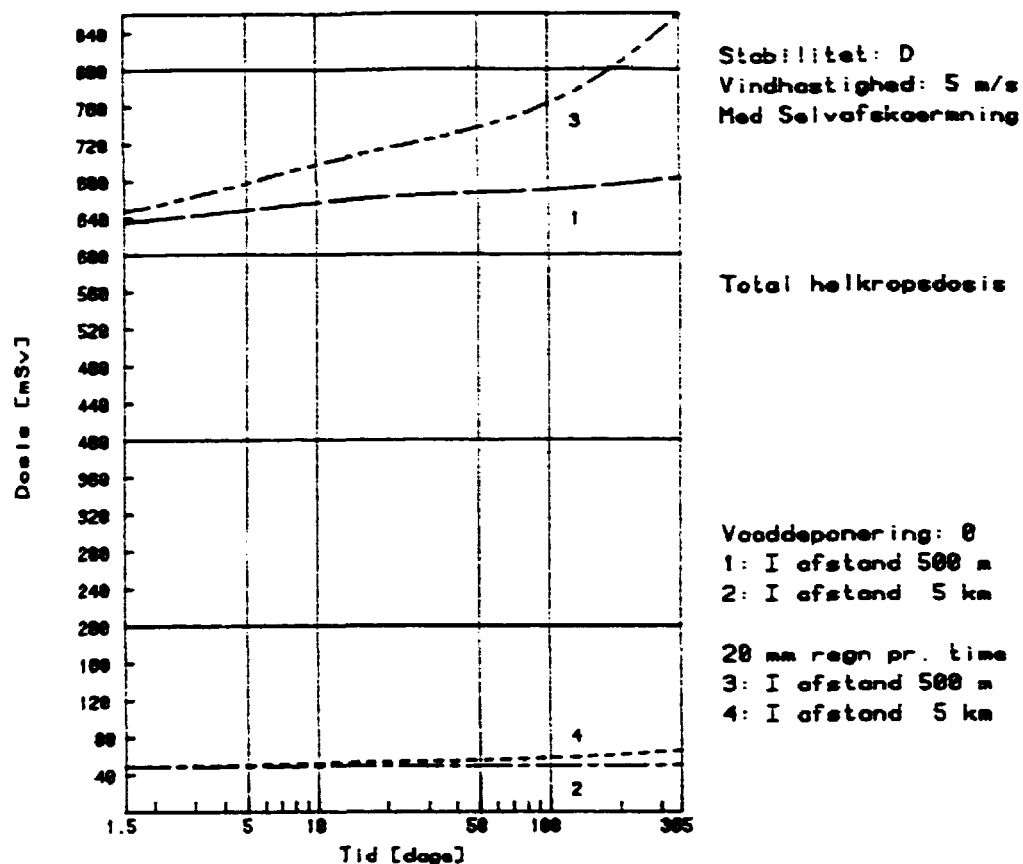


Fig. C.9. Total helkropsdosis ved normal tården i 1 år og indendørs ophold det første 1 1/2 døgn.

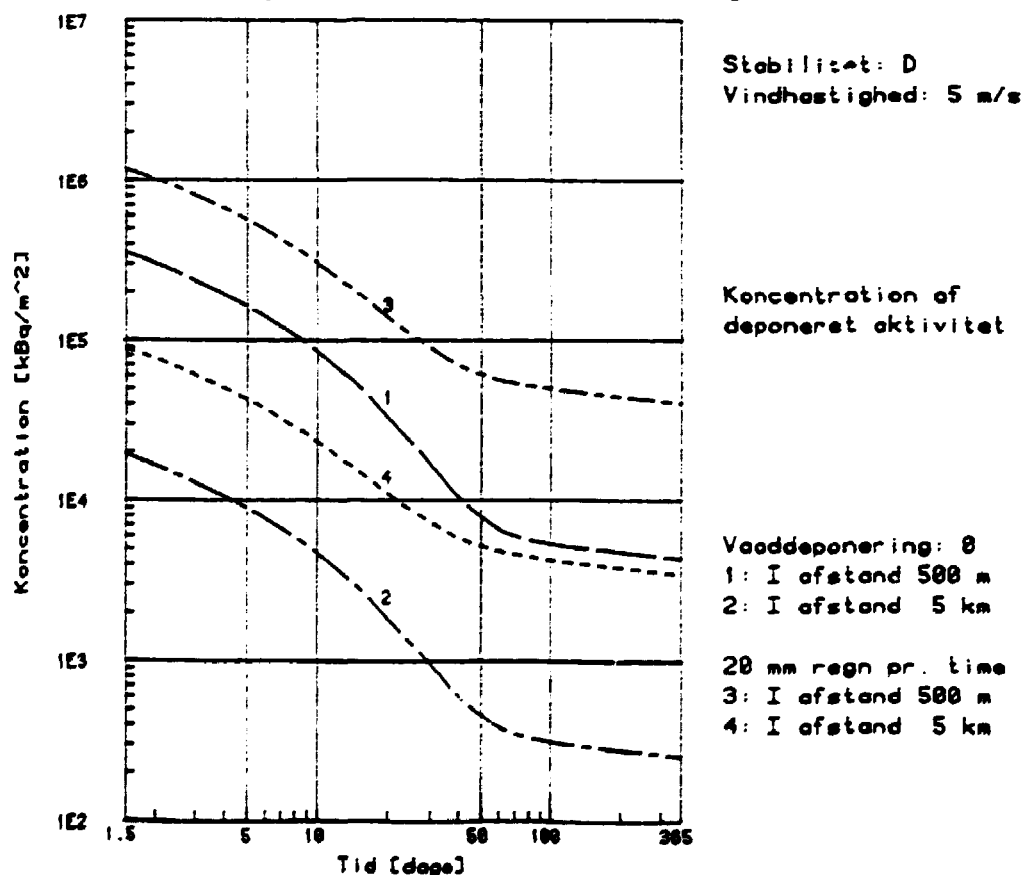


Fig. C.10. Koncentration af deponeret aktivitet i 4 afstande. Efter 36 timer indendørs regnes med normal fården.

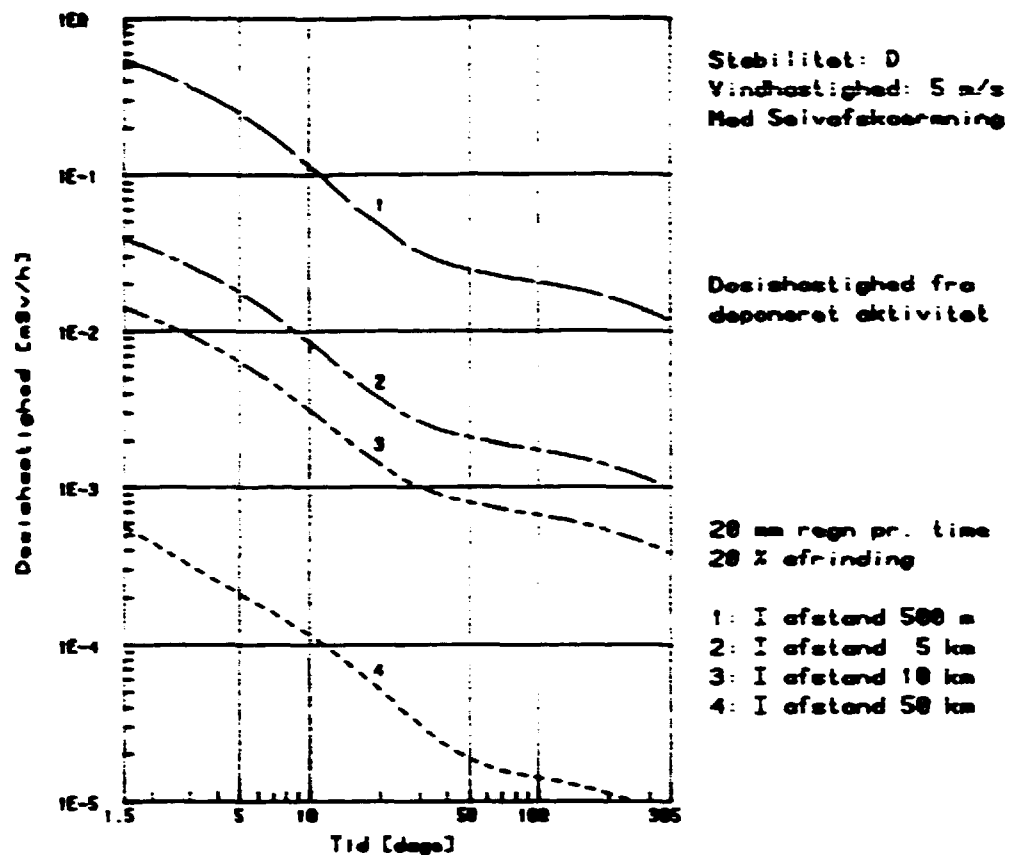


Fig. C.11A. Dosisrastighed fra deponeret aktivitet i 4 afstande ved stabilitet D.

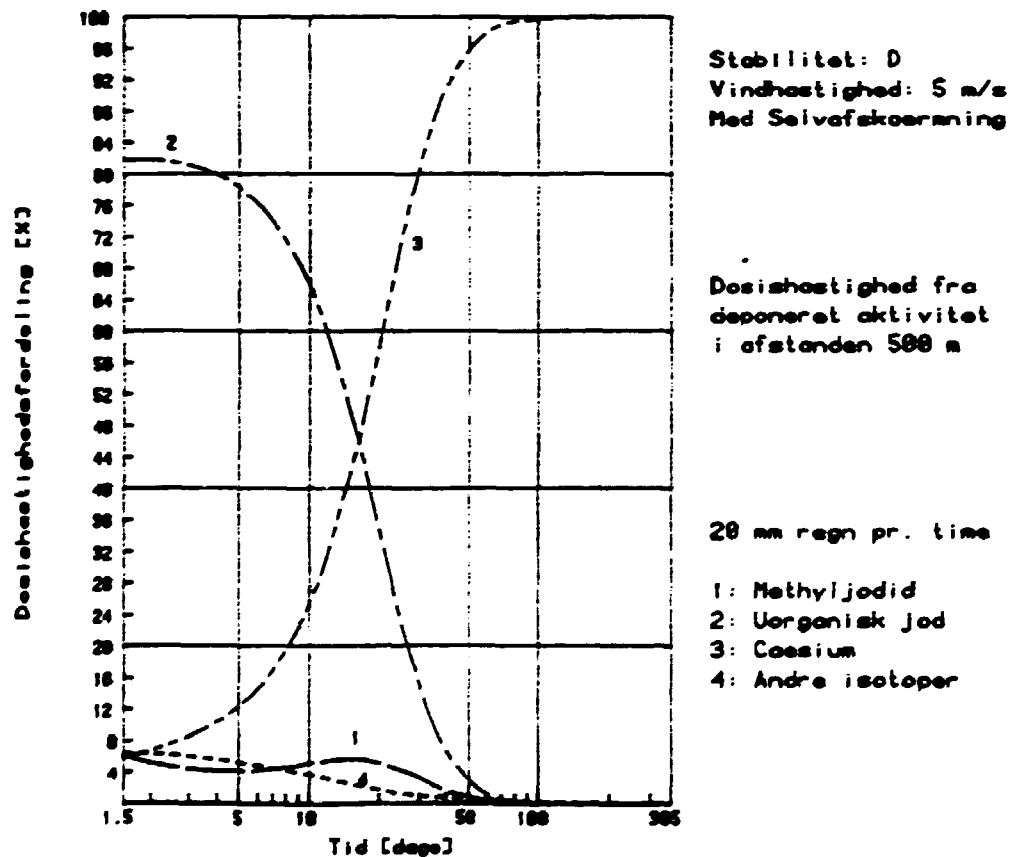


Fig. C.11B. Isotopgruppefordeling af dosisrastighed fra deponeret aktivitet 500 m fra varet.

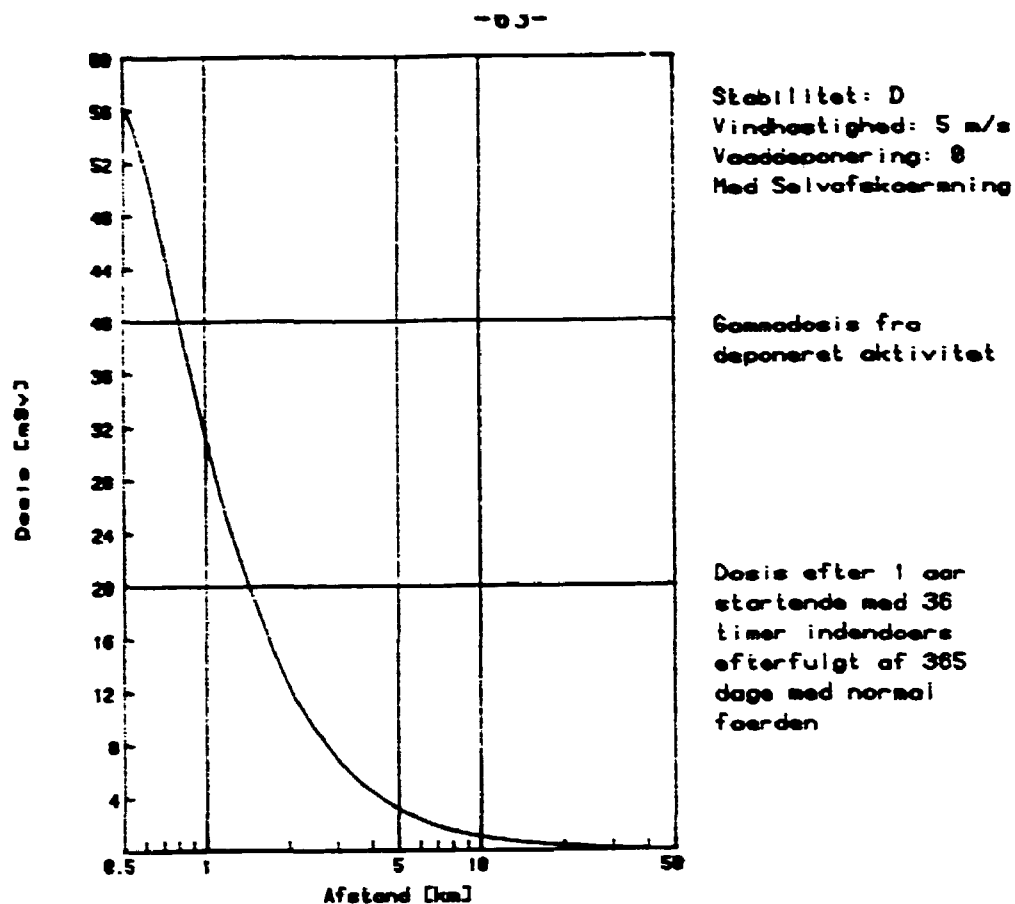


Fig. C.12. Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter 36 timer indendørs regnes med normal færden.

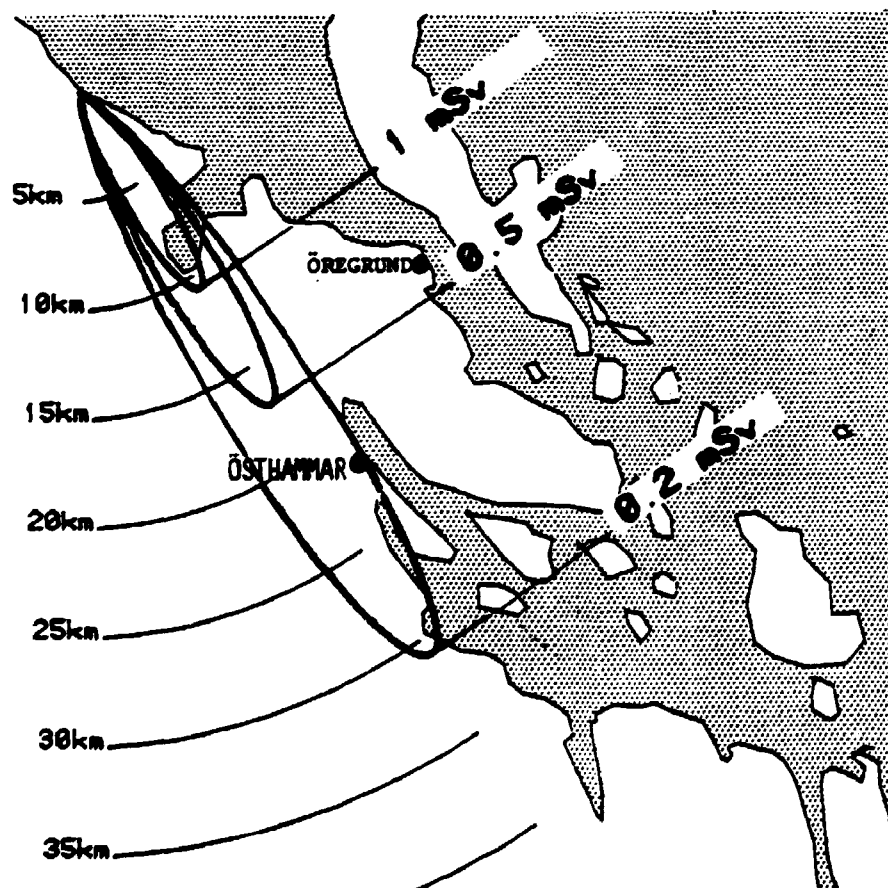


Fig. C.13. Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter det første 1 1/2 døgn indendørs regnes med normal færden i 365 dage på det pågældende sted.

Gammadosis fra deponeret aktivitet	Start afstand fra værket km	Slutafstand fra værket km	Maksimal bredde km	Areal km ²
over 0,2 mSv	0,1	31	4,7	110
over 0,5 mSv	0,1	17	2,9	36
over 1 mSv	0,1	11	1,9	15

Tabel C.2. Dimensioner på isodosiskurver hidrørende fra deponeret aktivitet ved Pasquill D, vindhastighed 5 m/s. Der regnes med 36 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 dages normal færden på det pågældende sted.

På fig. C.14 er vist kollektiv helkropps dosis efter et år, startende med 36 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 dages normalt ophold på stedet som funktion af retningen.

På fig. C.15 og fig. C.16 ses, at retningen 198° giver størst doser ud til 18 km. Retning 150° giver størst doser ud til mellem 18 og 61 km fra værket. Retning 297° giver størst doser mellem 61 og 70 km. Først mellem 70 og 72 km fra værket kommer retning 204° op på størst doser.

På fig. C.17 er vist en mere nøjagtig beregning af kollektiv dosis i intervallet fra 190° til 310°.

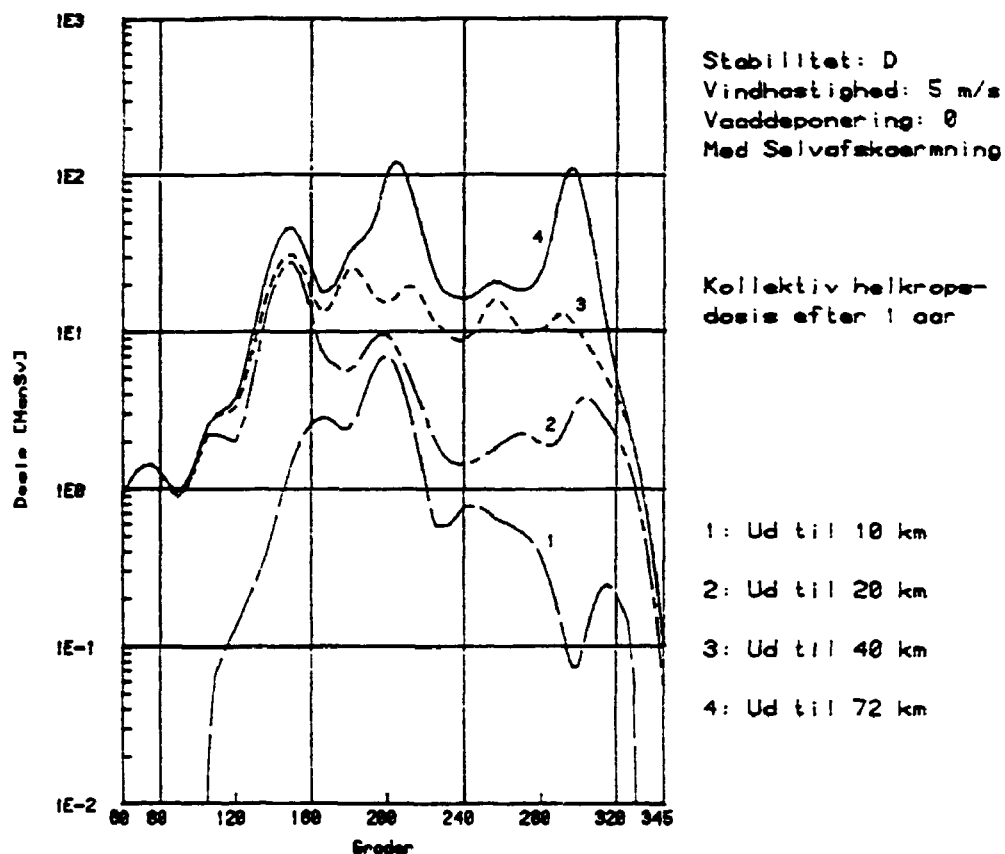


Fig. C.14. Kollektiv helkropps-dosis som funktion af retningen i 4 afstande fra værket.

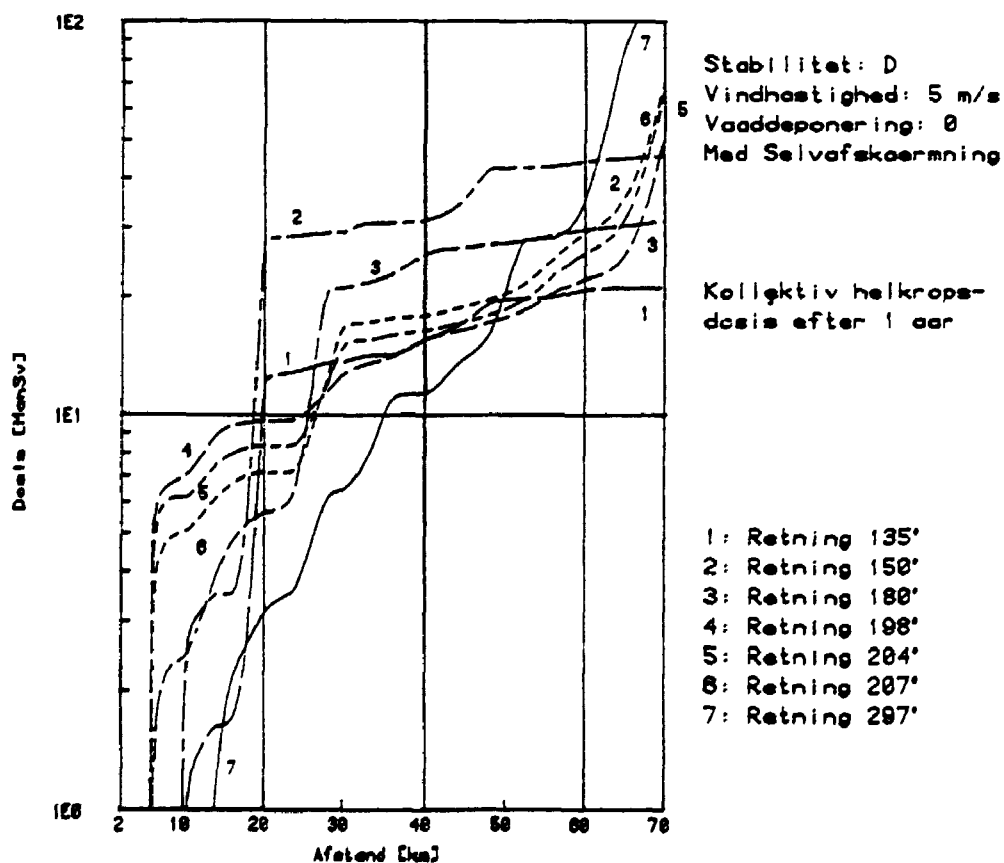


Fig. C.15. Kollektiv helkropps-dosis som funktion af afstanden fra værket i de 7 udslipsretninger, hvor kollektiv-dosis er størst.

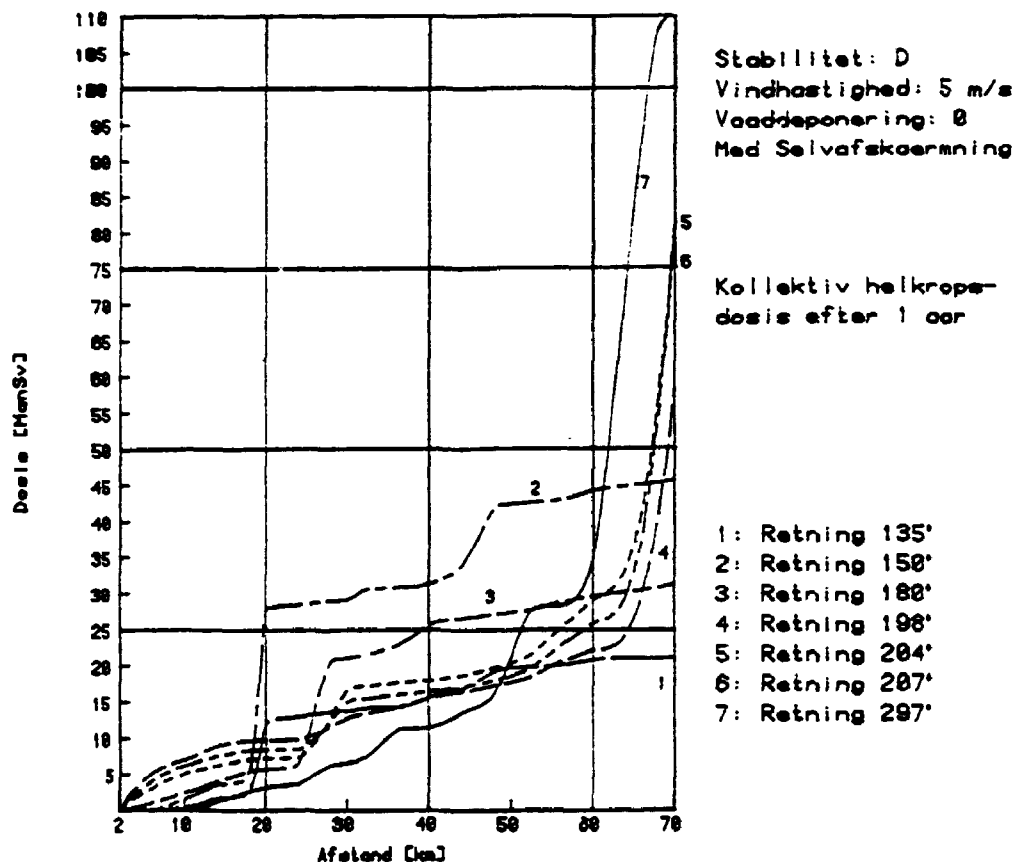


Fig. C.16. Kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 7 udslipsretninger, hvor kollektivdosis er størst.

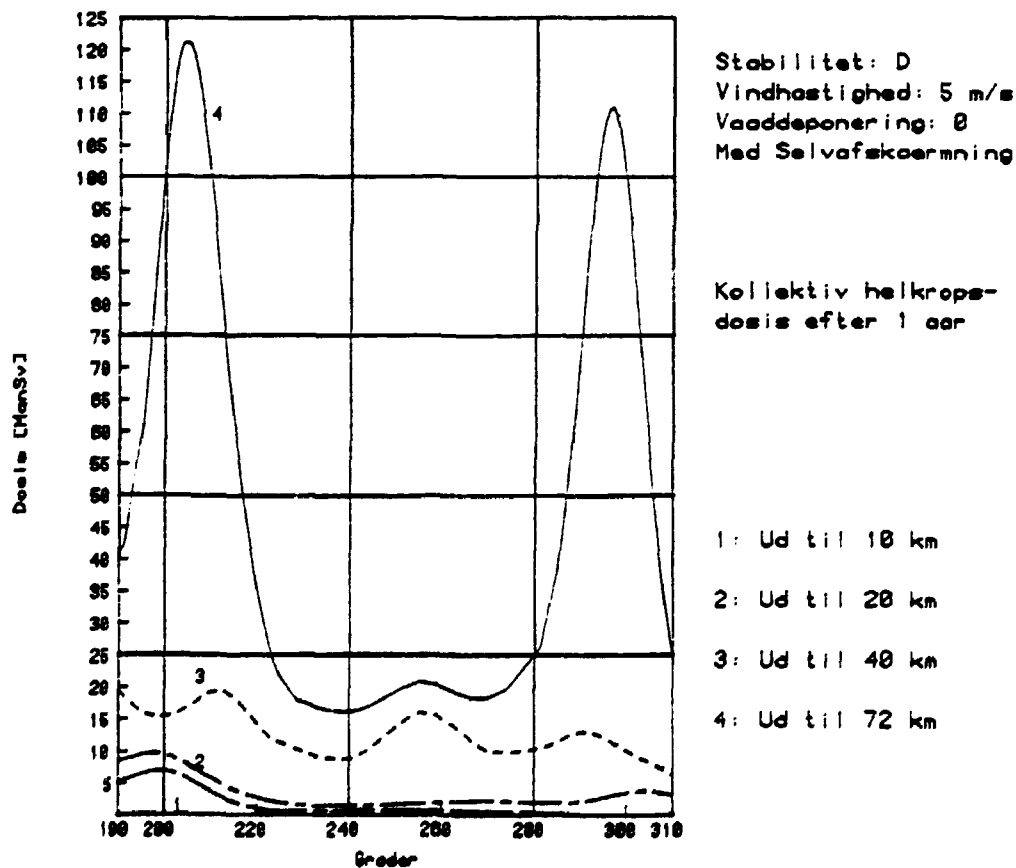


Fig. C.17. Kollektiv helkropsdosis som funktion af retningen i det 120° interval, hvor kollektivdosis overstiger 100 ManSv.

Title and author(s)		Date July 1988
Method for Consequence Calculations for Severe Accidents. Release from Forsmark 3 caused by total power failure. (in Danish) Flemming Nielsen		Department or group
		Health Physics
		Groups own registration number(s)
		Project/contract no.
		BIT-550540
Pages 68	Tables 23	Illustrations 37
References 20	ISBN 87-550-1435-6	
Abstract (Max. 2000 char)		
<p>This report was commissioned by the Swedish State Power Board. The report contains a calculation of radiation doses in the surroundings caused by a theoretical core meltdown accident at Forsmark reactor No 3. The accident sequence chosen for the calculating was a release caused by total power failure. The calculations were made by means of the PLUCON4 code.</p> <p>Meteorological data for two years from the Forsmark meteorological tower were analysed to find representative weather situations. As typical weather, Pasquill D was chosen with a wind speed of 5 m/s, and as extreme weather, Pasquill F with a wind speed of 2 m/s.</p>		
Descriptors - INIS COMPUTERIZED SIMULATION; DESIGN BASIS ACCIDENTS; ENVIRONMENTAL IMPACTS; FORSMARK-3 REACTOR; MELTDOWN; METEOROLOGY; P CODES; RADIATION DOSES; WIND		
Available on request from Rise Library, Rise National Laboratory, (Rise Bibliotek, Forskningscenter Rise), P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark. Telephone 02 37 12 12, ext. 2282. Telex: 43116, Telefax: 02 36 06 09		

**Rekvireres fra
Risø Bibliotek
Forskningscenter Risø, postbox 49,
4000 Roskilde
Telefon 02 37 12 12, lokal 2262
Telex 43116, Telefax 02 36 06 09**

**ISBN 87-550-1435-6
ISSN 0418-6435**